

Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Anexo 2

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente
Antioqueño

Febrero 2016



Tabla de contenido

Parte 1: Marco Conceptual	7
Teorías, métodos y propuesta de indicadores.....	7
1. Introducción, visión y objetivos.....	7
2. Estructura marco de los estudios técnicos.....	8
2.1 Unidades de análisis	8
2.2 Componentes del estudio	9
3. Metodología para los estudios técnicos: ET2 - riesgos y resiliencia climática.....	11
3.1 Estructura marco	11
3.1.1 Etapas comunes a los estudios técnicos - ET2	12
3.2 Proceso de análisis de peligro climático.....	13
3.2.1 Marco conceptual	13
3.2.2 Proceso de análisis	14
3.2.3 Sistema de índices	14
3.3 Proceso de análisis de riesgo climático	15
3.3.1 Marco conceptual	15
3.3.2 Proceso de análisis	16
3.3.3 Sistema de índices	18
3.4 Proceso de análisis de resiliencia climática.....	20
3.4.1 Marco conceptual	20
3.4.2 Proceso de análisis	21
3.4.3 Sistema de índices	22
Parte 2: Análisis, resultados e indicadores	24
4. Área de estudio	24
5. Análisis de peligros climáticos	25
5.1 Clima en el oriente antioqueño.....	25
5.1.1 Clima observado y su variabilidad	26
5.1.2 Clima Esperado	29
5.2 Amenazas hidro – meteorológicas seleccionadas para el oriente antioqueño	31
5.2.1 Zonas susceptibles a deslizamientos de tierra	31
5.2.2 Zonas susceptibles a inundación	32

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

5.2.3	Zonas afectadas por incendios forestales	33
5.3	Índice regional de cambio climático	34
5.4	Índice de peligro climático	36
6.	Resultados análisis de vulnerabilidad climática.....	39
6.1	Vulnerabilidad social.....	39
6.2	Vulnerabilidad ambiental-biodiversidad	43
6.3	Vulnerabilidad económica-sectorial.....	44
6.3.1	Índice de desempeño fiscal (IDF)	44
6.3.2	Peso relativo municipal en el PIB departamental (PMPIB)	45
6.4	Índice integrado de vulnerabilidad climática para el oriente antioqueño	46
7.	Resultados análisis de riesgo climático.....	48
7.1	Riesgo social	48
7.2	Riesgo ambiental-biodiversidad	49
7.2.1	Porcentaje de cambio en zonas de vida de Holdridge (PCZH)	49
7.2.2	Porcentaje de cambio en el balance hídrico (PCBH)	50
7.2.3	Índice de riesgo climático ambiental (ira).....	51
7.3	Riesgo económico-sectorial	52
7.3.1	Área agrícola cosechada en condición de riesgo (AACR)	52
7.3.2	Unidades económicas en condición de riesgo (uecr)	53
7.3.3	Índice de riesgo climático sectorial (IRSE).....	54
7.4	Índice integrado de riesgo climático para el oriente antioqueño	55
8.	Resultados capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia climática.....	58
8.1	Dimensión ambiental - biodiversidad.....	58
8.2	Dimensión social	58
8.3	Dimensión institucional y sectorial	59
9.	Conclusiones preliminares	59
9.1	Condiciones de peligro climático	59
9.2	Condiciones de vulnerabilidad climática	61
9.3	Condiciones de riesgo climático.....	61
10.	Literatura citada	62
11.	Anexos	65
11.1	Anexo 1. Listado de abreviaciones.....	65



Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

11.2	Anexo 2. Definiciones y conceptos	66
11.3	Anexo 3. Información climática disponible	69
11.4	Anexo 4. Cálculo del índice regional de cambio climático	71
11.5	Anexo 5. Cálculo del índice de vulnerabilidad ambiental	75
11.5.1	Usos del suelo y patrones de cambio	78
11.5.2	Secuestro y almacenamiento de carbono	80
11.6	Anexo 6. Análisis cambio en la clasificación de zonas de vida de holdridge por cambio climático	83
11.7	Anexo 7. Áreas protegidas del oriente antioqueño	85
11.8	Anexo 8. Datos originales y cálculos de índices	88



Lista de Figuras

Figura 1. Integración de los componentes de los estudios técnicos.....	10
Figura 2. Estructura de indicadores asociados a los estudios técnicos	11
Figura 3. Objetivos de los estudios técnicos de riesgos y resiliencia climática.	12
Figura 4. Etapas comunes a los estudios técnicos	13
Figura 5. Ilustración de los conceptos básicos del AR5. Fuente: IPCC AR5 2014.	15
Figura 6. Definición de los conceptos básicos del AR5. Fuente: IPCC AR5 (2014).....	16
Figura 7. Procesos del análisis de riesgos climáticos.	17
Figura 8. Definición de los componentes básicos del análisis de resiliencia climática.	21
Figura 9. Espacios de oportunidad y trayectorias resilientes al clima. Fuente: IPCC AR5 (2014).....	22
Figura 10. Localización general del área de Estudio.....	25
Figura 11. Promedios mensuales de las precipitaciones totales para el periodo 1985-2014.....	26
Figura 12. Promedios mensuales de la temperatura para el periodo 1985-2014.	26
Figura 13. Promedios interanuales de las precipitaciones totales mensuales	27
Figura 14. Promedios interanuales de la temperatura media para el período 1985-2014.	28
Figura 15. Precipitación media mensual durante el período 1976-2005. IDEAM (2015)	28
Figura 16. Temperatura media mensual, durante el período 1976-2005. IDEAM (2015).....	29
Figura 17. Escenarios de precipitación para tres periodos de acuerdo a IDEAM (2015).	30
Figura 18. Escenarios de temperatura para tres periodos de acuerdo a IDEAM (2015).....	30
Figura 19. Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra en el Oriente antioqueño. Fuente: IDEAM (2010).	32
Figura 20. Susceptibilidad a inundaciones en el Oriente Antioqueño. Fuente: CORNARE	33
Figura 21. Densidad de incendios forestales anuales en el periodo 2005 - 2013. Fuente: Universidad de Maryland y Nasa FIRMS (2015).	34
Figura 22. Índice regional de cambio climático.	35
Figura 23. Índice de peligro climático para los municipios del Oriente Antioqueño	37
Figura 24. Índice de vulnerabilidad climática – componente social.....	43
Figura 25. Índice de vulnerabilidad climática – componente biodiversidad	44
Figura 26. Índice de vulnerabilidad climática – componente económica / sectorial	45
Figura 27. Índice integrado de vulnerabilidad por municipio	47
Figura 28. Índice de riesgo climático social por municipio.....	49
Figura 29. Riesgo climático – cambio en zonas de vida de Holdridge.....	50
Figura 30. Riesgo climático – cambio en balance hídrico.....	51
Figura 31. Índice integrado de riesgo climático – componente biodiversidad	52
Figura 32. Riesgo climático – área agrícola cosechada en condición de riesgo	53
Figura 33. Riesgo climático – Unidades económicas en condición de riesgo	54
Figura 34. Índice integrado de riesgo climático – componente económico / sectorial	55
Figura 35. Índice integrado de riesgo climático	57
Figura 36. Escenarios ar5 modelos globales de circulación e incremento de temperatura	73
Figura 37. Procedimiento para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI).....	75
Figura 38. Distribución geográfica de los puntajes de frecuencia de los drivers de pérdida de diversidad a nivel de unidad de análisis.	77
Figura 39. Índice de riesgo ecológico (ERI) a nivel de las subcuencas presentes en la jurisdicción de Cornare.	78
Figura 40. Coberturas de la tierra 2005-2009. Fuente: IDEAM et al., 2012	79
Figura 41. Mapas de cambio de bosques periodo 1990-2013. Fuente: Galindo et al IDEAM 2014.	80
Figura 42. Mapa de cambio en los stocks de carbono para el Oriente Antioqueño en el periodo 1990 y 2013. Fuentes: Carbono Phillips et al. Ideam 2011; Bosque: Galindo et al Ideam 2014.	81
Figura 43. Contenido de carbono 2013. Fuentes: carbono phillips et al. Ideam 2011. Bosque: galindo et al. Ideam 2014.	82
Figura 44. Sistema de clasificación de Holdridge	83
Figura 45. Zonas de vida de Holdridge en el Oriente Antioqueño para el escenario actual.	84
Figura 46. Zonas de vida de Holdridge en el Oriente Antioqueño para el escenario futuro.	84
Figura 47. Áreas de cambio en las zonas de vida de Holdridge	84
Figura 48. Áreas protegidas de la Jurisdicción de Cornare.	85

Lista de Tablas

Tabla 1. Regiones y Municipios del Oriente Antioqueño	9
Tabla 2. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Peligro Climático.....	14
Tabla 3. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Vulnerabilidad Climática.....	18
Tabla 4. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Riesgo Climático.	19
Tabla 5. Conjunto de indicadores para espacios de oportunidad en capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia .	22
Tabla 6. Cambios esperados de precipitación y temperatura por municipio	30
Tabla 7. Índice de peligro climático y sus variables por municipio	38
Tabla 8. Consolidado de afectaciones humanas a causa de la manifestación de amenazas climáticas en el Oriente Antioqueño durante el periodo 1970 – 2011.	40
Tabla 9. Consolidado de afectaciones en la infraestructura de vivienda a causa de la manifestación de amenazas climáticas en el Oriente Antioqueño durante el periodo 1970 – 2011.	40
Tabla 10. Índice integrado de vulnerabilidad y sus variables por municipio	47
Tabla 11. Índice Integrado de Riesgo Climático y sus variables a nivel municipal	56
Tabla 12. Estaciones climatológicas de IDEAM localizadas dentro del área de estudio.....	69
Tabla 13. Cálculo del factor n del índice regional de cambio climático.....	72
Tabla 14. Modelos globales de circulación tomados en cuenta.....	74
Tabla 15. Puntajes de frecuencia utilizados para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI)	76
Tabla 16. Puntajes de severidad utilizados para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI)	76
Tabla 17. Áreas protegidas de orden Local, Nacional, Propuestas y Regionales de la Jurisdicción de Cornare.	85

Parte 1: Marco Conceptual

Teorías, métodos y propuesta de indicadores

1. Introducción, visión y objetivos

El Oriente Antioqueño le está apostando a una visión innovadora de su desarrollo y se convierte en un territorio pionero en impulsar un crecimiento verde y acorde a las nuevas condiciones del clima, a través del primer Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo compatible con el clima del país. El Plan permitirá repensar el desarrollo de la región, la forma como se ordena y orientar la transformación de su economía para mejorar su competitividad, además de conservar sus ecosistemas.

Pero los retos del crecimiento verde, entendido como “una estrategia integral de desarrollo que contempla el **crecimiento económico**, el **bienestar** para el ser humano, **minimiza los impactos ambientales**, **reduce la vulnerabilidad** y **aumenta la capacidad adaptativa del territorio** aprovechando las oportunidades de los escenarios futuros del clima; a través de la **innovación**, **inversión**, el **uso eficiente de los recursos** y el **fortalecimiento de las estructuras de gobernanza**” no son para nada simples, pues no existe una solución única para abordar este tipo de gestión, especialmente en el marco de un clima cambiante.

Este es un problema complejo, bien sea desde la perspectiva de armonizar objetivos de crecimiento económico, con un desarrollo bajo en carbono, complementado con la necesidad de intervenir las causas actuales y futuras asociadas al aumento en la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera (mitigación, desarrollo bajo en carbono) o bajo aquellas iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático (adaptación, desarrollo resiliente al clima). Lo anterior toma aún más relevancia en un país en desarrollo como Colombia, en donde la capacidad de responder al cambio climático sigue siendo limitada y gran parte de la población es altamente vulnerable a sus efectos.

En consecuencia, el marco conceptual de los estudios técnicos contenidos en este documento, busca reducir dicha complejidad, con el fin de facilitar la toma de decisiones en el contexto de una visión de resiliencia climática y crecimiento verde para el Oriente Antioqueño. Entendiendo que los elementos necesarios para alcanzar este tipo de visión van mucho más allá de un inventario de emisiones de gases efecto invernadero o de un análisis de vulnerabilidad, en este proyecto se planteó desde el inicio un ajuste en las bases para la gestión proactiva del territorio, usando los principales conceptos y enfoques que reconozcan y tengan en cuenta la forma como se planifica, gestiona y manejan de forma coordinada tanto la adaptación climática como el crecimiento verde, de la mano de los instrumentos de planificación y uso del territorio.

Los primeros pasos para cumplir con este propósito, están relacionados con estudios técnicos que apoyan las políticas y modelos de desarrollo requeridos para intervenir territorios con una vocación de crecimiento económico y desarrollo social y que sin embargo están en condición de amenaza y transformación por cambios del clima para los cuales no están adaptados. El presente documento

contiene varias secciones en las que se describen y desarrollan los diferentes tipos de estudios técnicos que apoyen la planificación en el Oriente Antioqueño. De forma simultánea establece un sistema de índices que relaciona los aspectos anteriormente mencionados.

2. Estructura marco de los estudios técnicos

La definición de crecimiento verde, compatible con el clima adoptada por el proyecto contempla cinco elementos conceptuales que son abordados por los Estudios Técnicos (ET):

ET1: El desarrollo bajo en carbono.

ET2: Un desarrollo climáticamente resiliente.

ET3: Unas metas de crecimiento económico.

ET4: Los objetivos de mejoramiento del bienestar social.

ET5: La valoración y el manejo sostenible del capital natural.

El presente informe de Estudios Técnicos corresponde a los elementos de análisis para un desarrollo climáticamente resiliente (ET2). En su forma conceptual más simplificada, el ET2 busca construir una sólida información de línea base relacionada con el clima, los riesgos climáticos y la resiliencia climática del oriente antioqueño, como soporte a la planificación del desarrollo y el ordenamiento del territorio, bajo una visión de crecimiento verde compatible con el clima.

2.1 Unidades de análisis

A lo largo del presente documento, se presenta una amplia gama de estudios relacionados con las condiciones climáticas, ambientales, sociales y económicas de la región. Cada uno de ellos puede corresponder a distintos procesos de generación de información, en su mayoría geo – referenciada. Para facilitar su comprensión e incidencia en procesos de toma de decisiones, todos los resultados intermedios y finales de los Estudios Técnicos (llamados índices integrados) se presentan a escala municipal. Por lo tanto, y en adelante, cada proceso de los estudios técnicos se verá reflejado en unidades de análisis municipales.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Tabla 1. Regiones y Municipios del Oriente Antioqueño

Región	Municipio
Valles de San Nicolás	El Carmen de Viboral El Retiro El Santuario Guarne La Ceja La Unión Marinilla Rionegro San Vicente
Porce Nus	Alejandro Concepcion San Roque Santo Domingo
Páramos	Abejorral Argelia Nariño Sonsón
Bosques	Cocorná Puerto Triunfo San Francisco San Luis
Aguas	El Peñol Granada Guatapé San Carlos San Rafael

2.2 Componentes del estudio

Cada una de las cinco agendas que conforman los estudios técnicos, son abordadas en torno a tres componentes:

U1: Sectores Económicos: Agricultura, Transporte, Energía e Industria.

U2: Biodiversidad: Especies, Ecosistemas, Servicios Ecosistémicos y Áreas Protegidas.

U3: Comunidades: comunidades urbanas, rurales y medios de vida de base comunitaria



Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

De forma gráfica se muestra la integración entre los componentes de los estudios técnicos y las componentes de análisis (Figura 1):

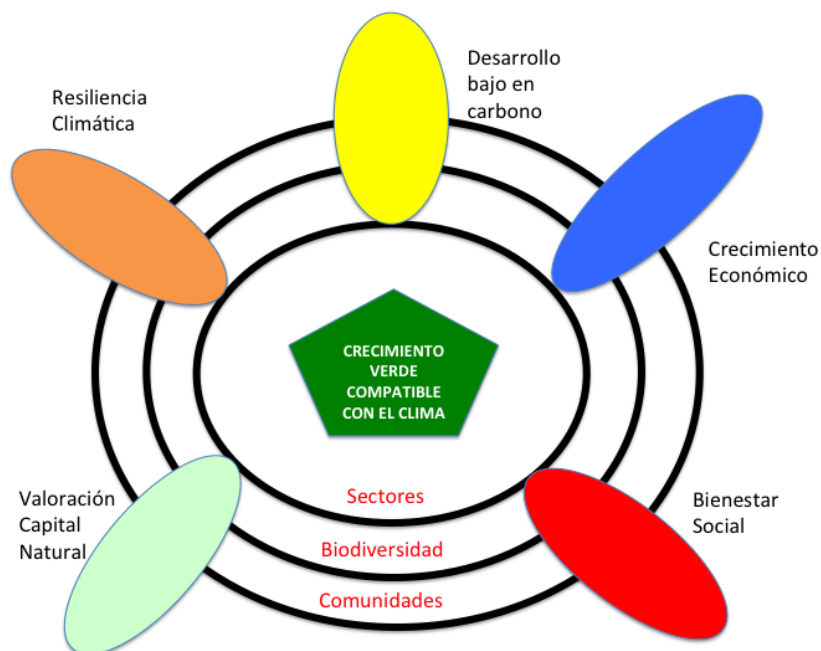


Figura 1. Integración de los componentes de los estudios técnicos

Los procesos que son abordados por los Estudios Técnicos permiten, en conjunto, la formulación de una serie de indicadores (Figura 2) para el futuro monitoreo y seguimiento de las metas y objetivos del Plan CVCC.



Figura 2. Estructura de indicadores asociados a los estudios técnicos

3. Metodología para los estudios técnicos: ET2 - riesgos y resiliencia climática

3.1 Estructura marco

En el proceso de construcción de un Plan de Crecimiento Verde compatible con el clima, el segundo grupo de estudios técnicos corresponde a los Análisis de Riesgos y de Resiliencia Climática. Conceptualmente, estos estudios técnicos brindan información fundamental en al menos tres grandes aspectos (Figura 3).



Figura 3. Objetivos de los estudios técnicos de riesgos y resiliencia climática.

3.1.1 Etapas comunes a los estudios técnicos - ET2

Los tres tipos de análisis propuestos (peligros climáticos, riesgos climáticos y resiliencia climática), tienen una estructura común, basada en dos etapas (ver Figura 4):

1. **La compilación y análisis de información:** Esta etapa busca documentar la mejor información disponible en cada proceso, para todos los componentes seleccionados (biodiversidad, sectores, comunidades). Dicha información puede variar en su escala geográfica (p.ej. cuencas hidrográficas, ecosistemas, municipios), temporalidad (p.ej. series históricas, escenarios futuros), y método de análisis (p.ej. modelación, simulaciones, análisis estadísticos). Como resultado de esta etapa, el Plan de Crecimiento Verde Compatible con el Clima cuenta con numerosos insumos que respaldan la construcción de una amplia agenda intersectorial y multidisciplinaria.
2. **La construcción de índices integrados:** Esta segunda etapa de los estudios técnicos permite sintetizar, para cada unidad de análisis (los municipios del oriente antioqueño), los resultados integrados de peligros, riesgos y resiliencia climática. La construcción de índices es una práctica frecuente en este tipo de análisis, ya que facilitan la comparación y priorización entre los diferentes procesos abordados.



Figura 4. Etapas comunes a los estudios técnicos

3.2 Proceso de análisis de peligro climático¹

3.2.1 Marco conceptual

El Proceso de análisis de Peligro Climático está desarrollado a partir de las últimas consideraciones conceptuales del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC – AR5) (ver figura 6). De acuerdo al IPCC, un peligro se define como el “*Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia física de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicos relacionados con el clima o los impactos físicos de este*”.

Bajo esta premisa conceptual, los “sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima” consideradas para el oriente antioqueño, están clasificadas en tres grandes grupos:

¹ Técnicamente, el análisis de Peligro Climáticos corresponde a un sub-proceso esencial de un Análisis de Riesgo Climático. Se usan amenazas “originadas o detonadas por el clima”; en todos los casos (remoción en masa, inundaciones, incendios forestales), existen una o varias precondiciones (usualmente conocido como factor detonante) relacionadas con clima (p.ej. precipitación y temperatura).

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

- **El Clima observado:** correspondiente a las series históricas de temperatura y precipitación en el área de estudio
- **El Clima esperado:** correspondiente a los escenarios de cambio climático asociados a distintas trayectorias representativas de concentración de gases de efecto invernadero (RCP por sus siglas en inglés).
- **El Clima extremo y las amenazas originadas/detonadas/relacionadas con el clima:** corresponde a inundaciones, deslizamientos e incendios forestales

3.2.2 Proceso de análisis

El análisis de peligro climático se fundamenta en que el clima, la variabilidad climática y ciertos fenómenos físicos originados, detonados o relacionados con el clima pueden ser considerados como un peligro y/o un factor de cambio en el oriente antioqueño. Bajo esta premisa, los estudios técnicos siguen un proceso de identificación de:

- Las zonas con mayores cambios en las condiciones medias y de estacionalidad en temperatura y precipitación.
- Las zonas con mayores condiciones de amenaza por inundaciones, deslizamientos e incendios forestales.

3.2.3 Sistema de índices

El índice de peligro climático pretende reflejar de forma integrada el proceso descrito en esta sección (Tabla 2). Tiene, por lo tanto, una aproximación a las condiciones climáticas a las que se encuentra expuesto el territorio y sus diversos componentes, incluyendo así la estimación de los cambios futuros esperados en temperatura y precipitación, tomando en cuenta los fenómenos físicos potencialmente peligrosos de origen climático que tienen incidencia en el territorio (inundaciones, remociones en masa y frecuencia de ocurrencia de incendios forestales).

Tabla 2. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Peligro Climático.

INDICE	COMPONENTE	INDICADOR	METODO
Índice de peligro climático	Social, sectores, biodiversidad y ecosistemas.	Índice Regional de Cambio Climático	Determinación de cambios en las condiciones climáticas actuales vs. esperadas (Temperatura, precipitación y la estacionalidad en la temporada seca y húmeda) (Giorgi 2005)

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

		Áreas expuestas a fenómenos físicos exacerbados por la variabilidad climática	Cuantificar el porcentaje de área susceptible a inundaciones, deslizamientos de tierra y la ocurrencia de incendios
--	--	---	---

3.3 Proceso de análisis de riesgo climático

3.3.1 Marco conceptual

El Proceso de análisis de Riesgo Climático se basa en el último informe del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC – AR5), el cual identifica, además de **Peligros**, **Exposición** y **Vulnerabilidad**, un elemento central integrador de los tres anteriores: el **Riesgo** (Figura 5).

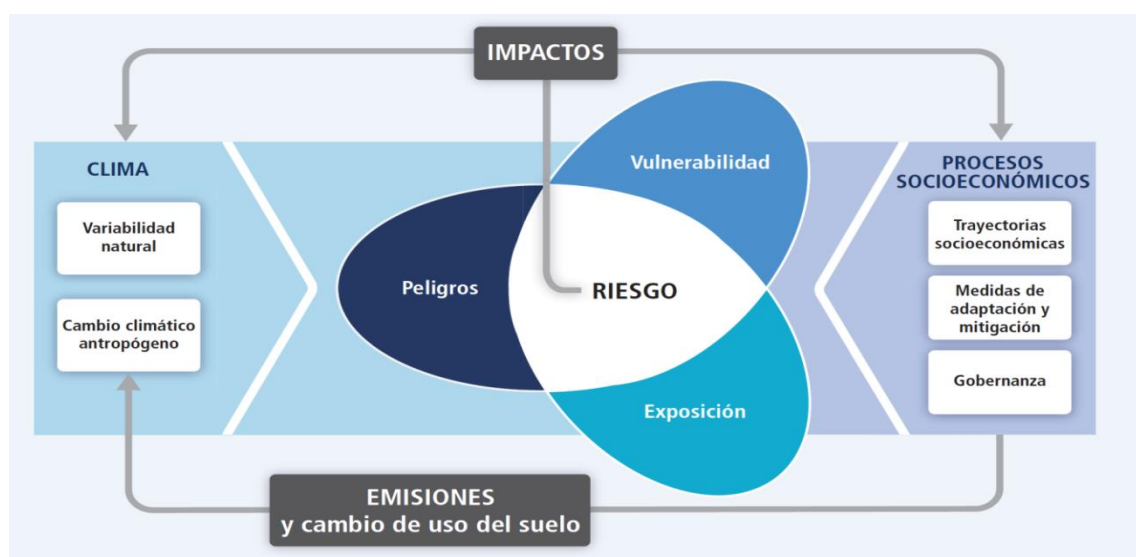


Figura 5. Ilustración de los conceptos básicos del AR5. Fuente: IPCC AR5 2014.

De acuerdo al IPCC (AR5 2014), estos componentes se definen de la siguiente forma (Figura 6):

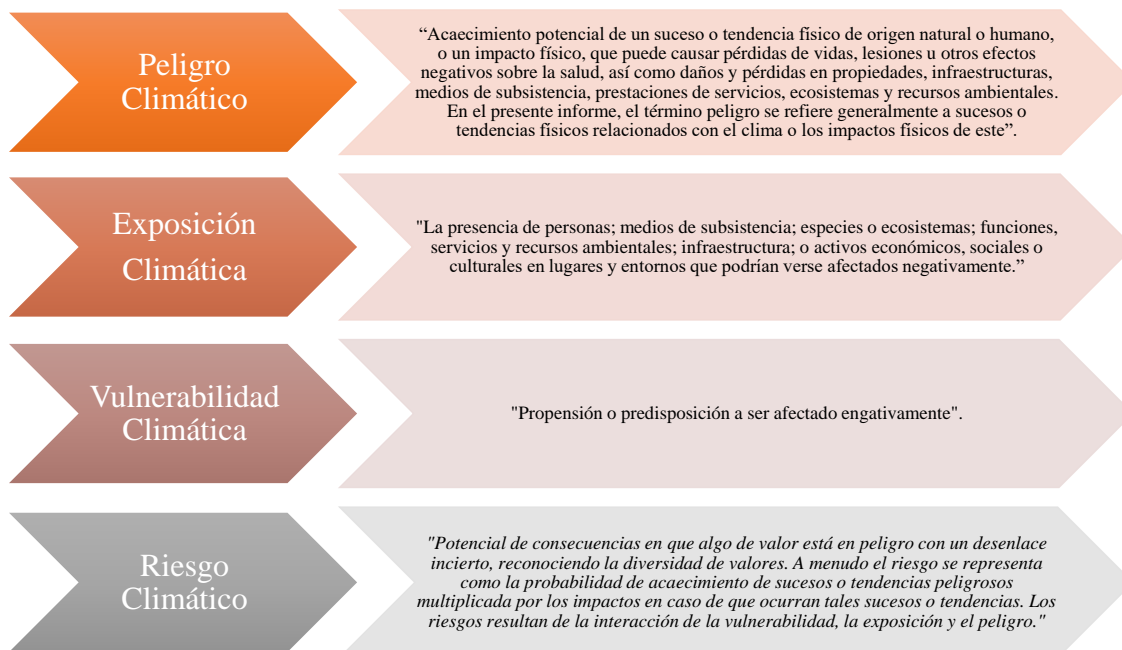


Figura 6. Definición de los conceptos básicos del AR5. Fuente: IPCC AR5 (2014).

3.3.2 Proceso de análisis

Integrando los conceptos anteriores y el esquema de los estudios técnicos propuestos para el Plan de Crecimiento Verde Compatible con el Clima, el Proceso de Análisis de Riesgo Climático es el siguiente (ver Figura 7):

- **Peligros:** Retomar los resultados del Análisis de Peligros climáticos, en particular las zonas del Oriente Antioqueño donde el clima observado, esperado y extremo, representa condiciones amenazantes y un factor de cambio.
- **Exposición:** Definir como unidades de análisis los municipios, en las cuales se consideran tres componentes: (i) Sectores Económicos; (ii) Biodiversidad; (iii) Comunidades.
- **Vulnerabilidad:** Identificar las condiciones de los municipios del oriente antioqueño que determinan su predisposición /propensión a ser afectados por los peligros climáticos. Metodológicamente se agrupan en: (i) Condiciones Biofísicas y (ii) Condiciones sociales: (iii) Condiciones Económicas-Sectoriales.
- **Riesgo:** Identificar los impactos potenciales sobre los componentes del Plan CVCC: (i) Riesgos Climáticos Sectoriales; (ii) Riesgos Climáticos en Biodiversidad y (iii) Riesgos Climáticos en Comunidades.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

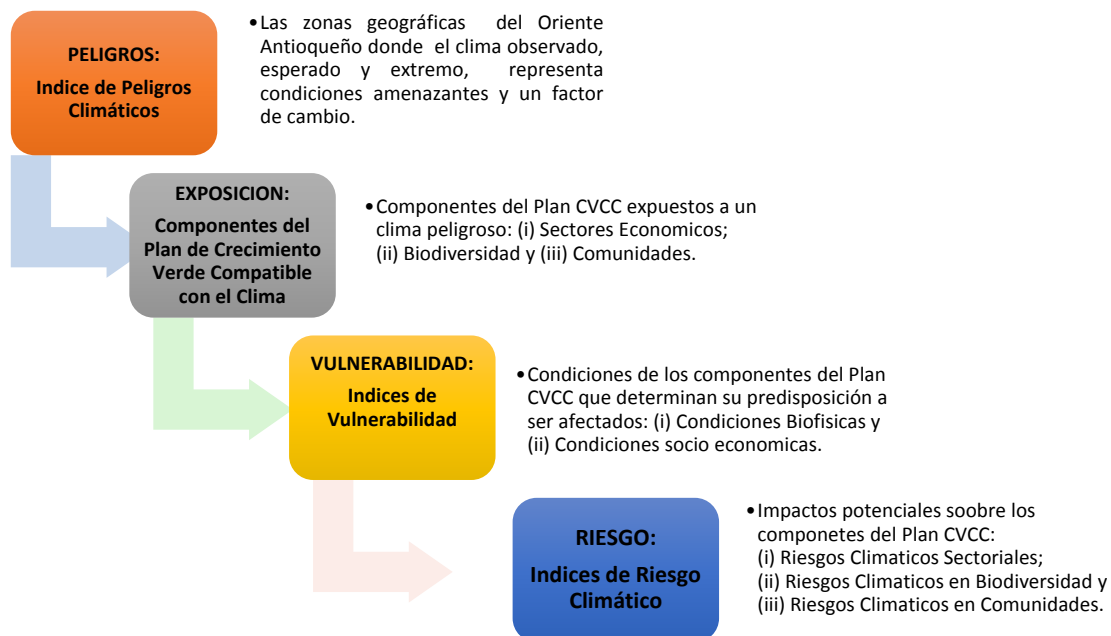


Figura 7. Procesos del análisis de riesgos climáticos.

3.3.3 Sistema de índices

3.3.3.1 Índices de vulnerabilidad climática

El índice de vulnerabilidad climática está basado en indicadores que demuestran la predisposición / propensión sensibilidad que posee el Oriente Antioqueño a ser afectado por un clima cambiante. Para estimarlo fueron tenidos en cuenta cada uno de los componentes del Plan de Crecimiento Verde Compatible con el Clima: Social, Biodiversidad, y Sectores (Tabla 3).

- **Índice de Vulnerabilidad social:** Desarrollado a partir del análisis de afectación histórica por emergencias y desastres detonados o relacionados con el clima; este índice refleja la predisposición histórica de los municipios a ser afectados por amenazas hidro-meteorológicas.
- **Índice de Vulnerabilidad Biodiversidad:** Desarrollado a partir del análisis de motores de transformación de ecosistemas del Oriente Antioqueño; este índice refleja que los ecosistemas sometidos a una mayor presión / transformación, tienen una mayor predisposición /propensión a ser afectados negativamente por un clima cambiante.
- **Índice de Vulnerabilidad sectorial:** Desarrollado a partir del análisis de desempeño fiscal y la participación en el PIB de cada municipio del Oriente Antioqueño. Este índice refleja que municipios con más baja participación en el PIB y más bajo desempeño fiscal tienen una mayor predisposición/propensión desde una perspectiva económica/sectorial a ser afectados negativamente.

Tabla 3. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Vulnerabilidad Climática.

ÍNDICE	COMPONENTE	INDICADOR	MÉTODO
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD CLIMÁTICA MUNICIPAL	SOCIAL	Número de personas afectadas por eventos de origen climático	Estadísticas de número de heridos, damnificados y muertos por municipio a partir de la base de datos Desinventar.
		Cantidad de daños por eventos de origen climático	Estadísticas de número de viviendas afectadas y destruidas por municipio a partir de base de datos Desinventar
	BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS	Presencia de motores de pérdida de biodiversidad adaptando el Índice de riesgo ecológico	Integra la frecuencia de varios agentes de degradación con estimaciones de su efecto potencial sobre algunos factores ambientales de importancia, como la calidad del agua, calidad de hábitat, interacciones bióticas y el régimen hidrológico. (Mattson y Angermeier 2006)
	SECTORES	Desempeño fiscal a nivel municipal	Clasificación de las cuentas de ejecución presupuestal de los municipios, que permite calcular el

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

			déficit y el monto de su financiamiento. (DANE)
		Peso relativo municipal en el PIB departamental	Distribución del valor agregado de un departamento entre cada uno de sus municipios a partir de una estructura obtenida con indicadores sectoriales directos e indirectos (DANE)

3.3.3.2 Índices de riesgo climático

El índice de Riesgo Climático calculado para el Oriente Antioqueño fue obtenido por medio de la integración de varios indicadores por componente (Tabla 4).

- El riesgo climático en biodiversidad y ecosistemas fue estimado a partir de la evaluación de la variación en el balance hídrico y la clasificación climática de los ecosistemas bajo condiciones de cambio climático proyectadas a futuro.
- El riesgo sobre el componente social, está definido como la población municipal en condición de riesgo climático y se obtiene a partir del balance entre la población municipal, su respectivo índice de peligro climático y el índice de vulnerabilidad social.
- El riesgo sobre los sectores fue estimado a partir del área agrícola cosechada en condiciones de riesgo, y de las unidades económicas comerciales y de servicios en condiciones de riesgo. De forma análoga al cálculo de riesgo social, se obtiene a partir del balance entre los indicadores sectoriales municipales con su respectivo índice de peligro climático.

Tabla 4. Conjunto de indicadores que constituyen el índice de Riesgo Climático.

ÍNDICE	COMPONENTE	INDICADOR	MÉTODO
ÍNDICE DE RIESGO CLIMÁTICO	SOCIAL	Población en condición de riesgo climático	Calculado a partir del número total de personas estimadas para el 2015 (DANE), índice de peligro climático y la vulnerabilidad social a nivel municipal.
	BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS	Riesgo climático del recurso hídrico	Cambios potenciales en el balance hídrico promedio por municipio, comparando la normal climática actual con el periodo 2040 – 2069, utilizando el modelo hidrológico Fiesta mediante la herramienta Waterworld (2015).
		Riesgo climático en ecosistemas	Cambios en la clasificación climática de las zonas de vida según holdridge (1964), comparando la normal climática actual con el periodo 2040 – 2069.
	SECTORES	Área agrícola cosechada en	Cantidad de área cosechada (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2008)

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

		condición de riesgo climático	en proporción con el índice de peligro climático y la vulnerabilidad sectorial.
		Unidades económicas de servicios en condición de riesgo	Número de unidades económicas de servicios (Dane 2005) en proporción con el índice de peligro climático y la vulnerabilidad sectorial.
		Unidades económicas comerciales en condición de riesgo	Número de unidades económicas comerciales (Dane 2005) en proporción con el índice de peligro climático y la vulnerabilidad sectorial.

3.4 Proceso de análisis de resiliencia climática

3.4.1 Marco conceptual

En el contexto de cambio climático y de acuerdo al IPCC (2014) la resiliencia se define como la *“Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación”*.

Como se menciona de manera explícita en la definición, la resiliencia climática es aplicable para diversos sistemas, entre estos los sociales, económicos y ambientales. Respondiendo a lo anterior, el Proceso de análisis de Resiliencia Climática se basa en la identificación de las condiciones que existen en el Oriente Antioqueño para recuperarse del **progresivo impacto de un clima cambiante**, es decir, para recuperarse de la **materialización de los riesgos climáticos**. Conceptualmente, y para efectos de los estudios técnicos, dichas condiciones se dividen en: (i) Sociales; (ii) Políticas o Institucionales; (iii) Naturales; (iv) Económicas y Productivas (Figura 8). Cada una de ellas se define a continuación:





Figura 8. Definición de los componentes básicos del análisis de resiliencia climática.

3.4.2 Proceso de análisis

El proceso de análisis reconoce, de acuerdo con el IPCC, “la adaptación como medio de crear resiliencia y realizar ajustes en función de los impactos del cambio climático”. Esto implica la necesidad de considerar el concepto de “**Trayectorias Resilientes al clima y transformación**” (Figura 9), las cuales son procesos de desarrollo sostenible que combinan adaptación y mitigación con miras a reducir el cambio climático y sus impactos.

El análisis para el Oriente Antioqueño se aproxima a la comprensión de procesos iterativos para garantizar la aplicación y el mantenimiento de la gestión eficaz del cambio climático. Las perspectivas de trayectorias de desarrollo sostenibles Resilientes al clima están fundamentalmente relacionadas con transformaciones en las decisiones y medidas de orden económico, social, tecnológico y político.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

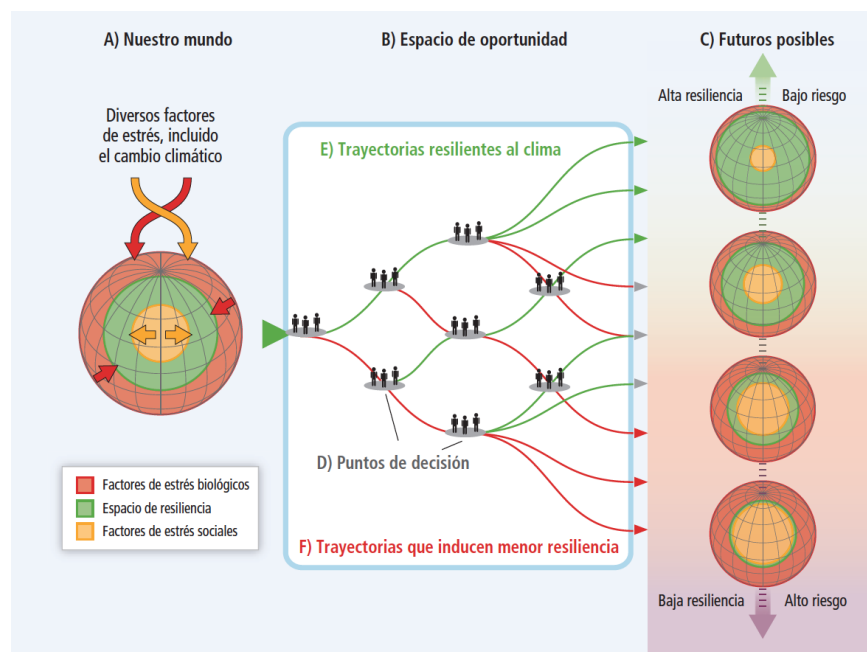


Figura 9. Espacios de oportunidad y trayectorias resilientes al clima. Fuente: IPCC AR5 (2014)

3.4.3 Sistema de índices

En la tabla 5 se presentan ejemplos específicos de espacios de oportunidad para trayectorias de resiliencia y capacidad de adaptación. El punto principal del sistema de índices es identificar espacios de oportunidad para aplicar estrategias y medidas que logren progresos hacia las trayectorias de desarrollo sostenible Resilientes al clima, y que al mismo tiempo contribuyan a mejorar los medios de subsistencia, el bienestar social y económico y la gestión ambiental responsable. A escala municipal, se considera que la transformación será más eficaz cuando refleje en estos indicadores las propias visiones y enfoques de crecimiento verde compatible con el clima.

Tabla 5. Conjunto de indicadores para espacios de oportunidad en capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia

Dimensión	Espacio de Oportunidad	Indicador de Base
Biodiversidad. Ambiente Físico	Gestión ambiental	Áreas protegidas, de conservación
	Ordenamiento del territorio	Conflictos de uso de la tierra
	Gestión del riesgo de desastres	Numero promedio de personas afectadas (decadal, por cada 100.000 habitantes) por emergencias y desastres hidro- meteorológicos
	Recurso Hídrico	Vulnerabilidad por disponibilidad de recurso hídrico año seco Índice escasez municipal año seco
Social	Desarrollo humano	Alfabetismo Calidad de la educación

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

	Alivio de la pobreza	Necesidades básicas insatisfechas
	Seguridad alimentaria-medios de subsistencia	Condiciones de vida de la población
Institucional	Gestión institucional	Capacidad de Ahorro municipal Dependencia de transferencias nacionales Desempeño integral municipal
Sectorial	Recursos Energéticos	Por definir
	Recursos Agropecuarios	Rendimiento de principales productos agroindustriales

Parte 2: Análisis, resultados e indicadores

4. Área de estudio

La región del Oriente Antioqueño, se encuentra al suroriente del departamento de Antioquia en Colombia, limitando al sur con el departamento de Caldas, al oriente con Boyacá y al norte y occidente con la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Antioquia (Corantioquia).

Esta región se extiende por la planicie, piedemonte y montañas de la cordillera central, tiene un amplio rango altitudinal con alturas mínimas de 200 m en la planicie del Magdalena Medio y máximas de 3,340 m en el cerro de las Palomas en el páramo de Sonsón, Argelia, Nariño y Abejorral, lo que indica una gran variedad de climas en la región (Cornare, 2014) Hidrológicamente sus aguas recorren la zona hidrográfica del medio Magdalena (subzonas hidrográficas del río Nare, Samaná y directos al Magdalena medio) y el río Cauca (subzona hidrográfica del río Arma).

La zona de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Jurisdicción de los Ríos Negro y Nare (Cornare, Figura 10) comprende 26 municipios agrupados en 5 subregiones. El Valle de San Nicolás abarca 21.5% del oriente antioqueño y está formado por los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente; en la subregión de Porce-Nus, que ocupa 12.2%, se encuentran los municipios de Alejandría, Concepción, San Roque y Santo Domingo; la Subregión de Páramos, con 29.2% del área de la región, contiene los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón; la Subregión de Bosques ocupa 18.6% del oriente antioqueño con los municipios de Cocorná, Puerto Triunfo, San Francisco y San Luis; y el 18.4% restante corresponde a la Subregión de Aguas con los municipios de El Peñol, Granada, Guatapé, San Carlos y San Rafael.

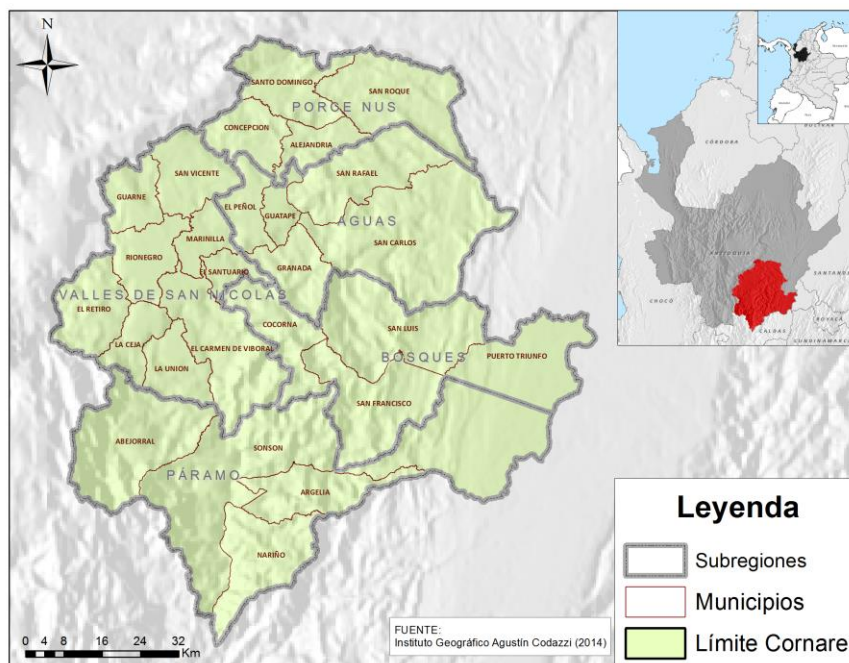


Figura 10. Localización general del área de Estudio.

El Oriente antioqueño es una zona de interés agrícola y pecuario, con porcentajes altos de coberturas de pastos y mosaicos de pastos con otras combinaciones. De igual manera, en la subregión Aguas se genera gran parte de la energía hidroeléctrica que se consume en Colombia y en la zona del medio Magdalena la explotación de recursos no renovables es una fuente económica y laboral.

En general, el paisaje de la región ha enfrentado múltiples desafíos como la rápida pérdida de su cobertura vegetal natural, la fragmentación de ecosistemas y la extracción selectiva de especies debido a los procesos antropogénicos (la cacería ilegal, explotación forestal insostenible, ganadería extensiva y contaminación de fuentes de agua por uso de agroquímicos y dinamita para pesca, explotación minera, entre otros).

5. Análisis de peligros climáticos

5.1 Clima en el oriente antioqueño

Teniendo en cuenta que las variaciones climáticas generan la manifestación de diferentes fenómenos que tienen incidencia negativa sobre el territorio, o que de manera adicional podrán originar oportunidades, conocer el clima actual y el clima futuro en el Oriente Antioqueño constituye el primer paso para la descripción del contexto en torno al cual debe girar el desarrollo compatible con el clima, así como la definición de medidas y acciones orientadas a la conservación de los entornos naturales, el hábitat humano inmerso en ellos y las actividades productivas en el contexto del crecimiento verde.

5.1.1 Clima observado y su variabilidad

5.1.1.1 Régimen anual de precipitación y temperatura

El ciclo anual de la precipitación en el Oriente antioqueño es principalmente bimodal (dos temporadas de lluvias, Figura 11), con un valor máximo promedio de precipitación total de 387.83 mm en el mes de septiembre. La temporada lluviosa del primer semestre del año alcanza su pico máximo entre abril y mayo, y la del segundo semestre entre septiembre y octubre. La estación seca está comprendida entre diciembre y febrero. Este último es el mes más seco de todos, con una precipitación total promedio de 112.83 mm.

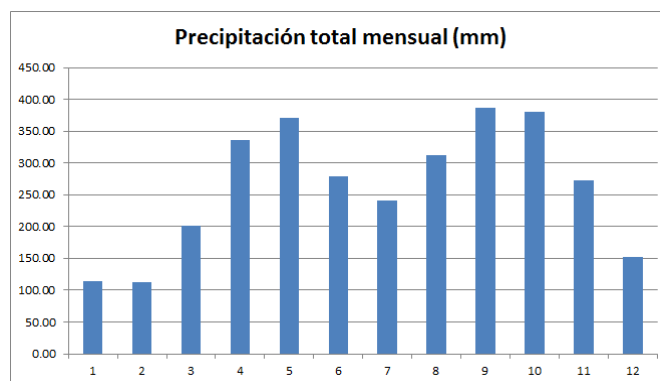


Figura 11. Promedios mensuales de las precipitaciones totales para el periodo 1985-2014.

El ciclo anual de la temperatura en el Oriente antioqueño es unimodal (Figura 12), con una distribución uniforme al inicio del año. El mes con la mayor temperatura media es agosto con 23.95 °C y el mes que presenta las menores temperaturas promedio mensual es noviembre 23.2 °C. En promedio la temperatura anual para la región es de 20.87 °C.

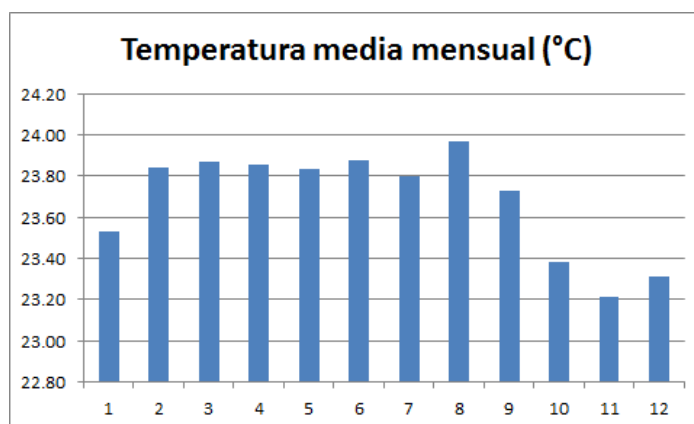


Figura 12. Promedios mensuales de la temperatura para el periodo 1985-2014.

5.1.1.2 Régimen multianual

El régimen multianual de la precipitación en el Oriente Antioqueño presenta una alta variabilidad interanual (Figura 13). Los menores promedios de las precipitaciones totales mensuales se observaron en los períodos 1997-1998, 2001-2003 y 2009-2010, y de estos años el menos lluvioso fue 1985 (223.6 mm). Los años más lluviosos fueron 1988 (285.3 mm), 1999-2000 (302.2 y 291.8 mm) y 2010-2011 (304.5 y 318.4 mm).

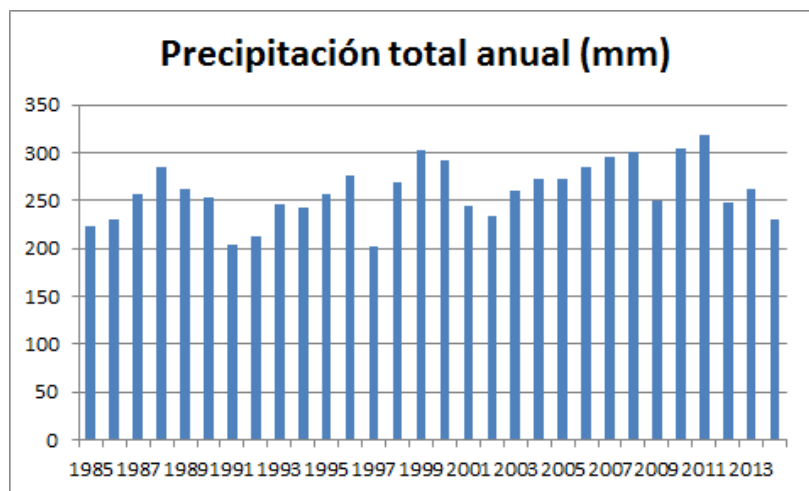


Figura 13. Promedios interanuales de las precipitaciones totales mensuales

El régimen multianual de la temperatura en la zona del Oriente Antioqueño presenta una alta variabilidad interanual (Figura 14). Los menores promedios de la temperatura promedio mensual se observaron en los períodos 1985, 1991-1992, 1997-1998 y 2014. De estos años el más seco fue 1997 (201.7 mm). Los años con mayores precipitaciones fueron 1985-1989, y 2014. Al igual que la precipitación, el régimen multianual de la temperatura en la zona de estudio del Oriente Antioqueño, tiene una alta variabilidad interanual. La temperatura media mensual presentó los menores valores (< 20.4 °C) entre 1985-1989 y en el año 2014. Los años con la mayor temperatura media fueron 1997-1998 (El Niño) (21.3 y 21.6 °C), 2001-2003 (21.3°C) y 2009-2010 (21.2°C).

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

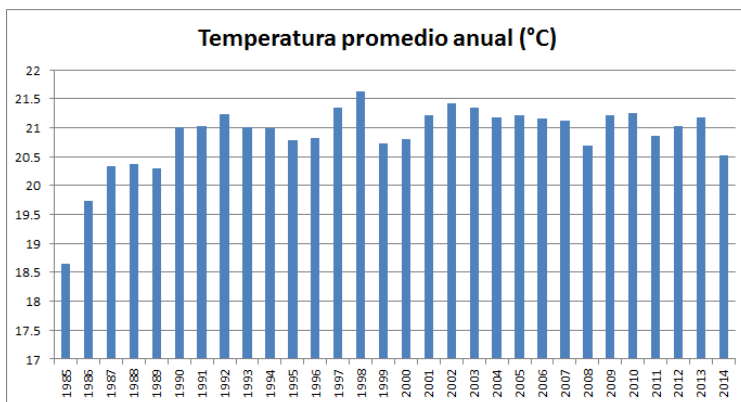


Figura 14. Promedios interanuales de la temperatura media para el período 1985-2014.

5.1.1.3 Precipitación en el Oriente Antioqueño periodo 1976-2005

De acuerdo a los datos de IDEAM (2015, Figura 15), las zonas del área de estudio con las mayores precipitaciones totales anuales (5000-6000 mm), se encuentran localizadas en la parte central, que cubren parte de los municipios de Cocorná y San Francisco. De otro lado, las zonas con menores precipitaciones totales (1500-2000 mm), se encuentran localizadas en la parte oeste de la jurisdicción de Cornare, municipios de Guarne y Cocorná. Se destaca el efecto de montaña que ejerce el Piedemonte Antioqueño, en el cual las partes bajas e intermedias (< 1000 m de elevación) presentan los mayores valores de precipitación mientras que en las partes altas las precipitaciones son reducidas.

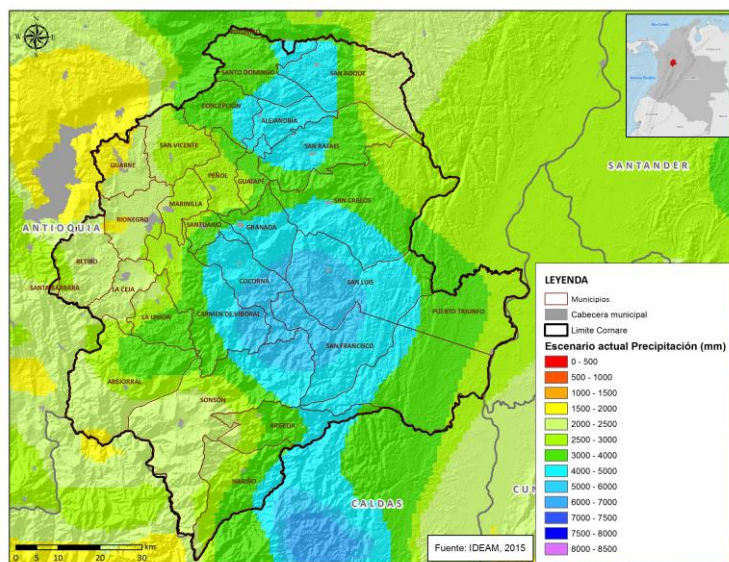


Figura 15. Precipitación media mensual durante el período 1976-2005. IDEAM (2015)

5.1.1.4 Temperatura en el Oriente Antioqueño periodo 1976 - 2005

La temperatura media mensual más baja en el área de estudio se presenta en la Unión y Abejorral (Figura 16) mientras que las temperaturas más altas se presentan en el nordeste del área de estudio, en estribaciones e influencia del valle medio del Magdalena, municipio de Puerto Triunfo entre 27.1 y 28°C. La mayor variabilidad de la temperatura media, se observa en la mitad de la región por influencia del relieve a lo largo de los municipios de Granada, Santuario, Cocorná, Carmen de Viboral y Sonsón.

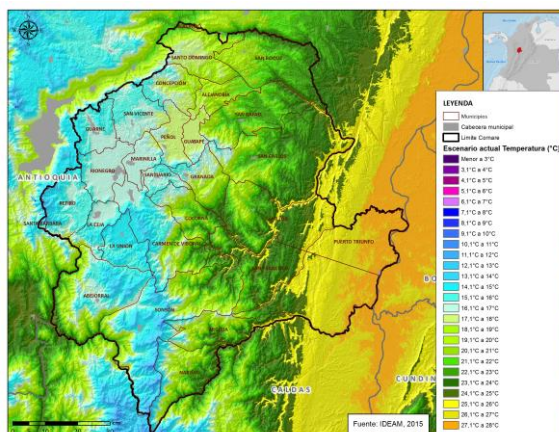


Figura 16. Temperatura media mensual, durante el período 1976-2005. IDEAM (2015)

5.1.2 Clima Esperado

De acuerdo con los resultados presentados en el marco de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA 2015), el país cuenta con un análisis del clima futuro que fue elaborado siguiendo las nuevas metodologías del IPCC (2013), a partir de cuatro escenarios diferentes de emisiones (RCP 2,6, 4,5, 6,0 u 8,5) generando cuatro periodos de evaluación: 2011 – 2040; 2041 – 2070 y 2071 – 2100. Para desarrollar los Escenarios de Colombia, los científicos del IDEAM tomaron los 16 modelos globales que mejor representan el clima de referencia de Colombia (1976 - 2005) y que modelan la temperatura y la precipitación hasta el año 2100 y los regionalizaron utilizando un método llamado Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta (REA, por su nombre en inglés). Éste es un método que permite combinar las salidas de los modelos de circulación general teniendo en cuenta dos criterios: desempeño y convergencia. De esta manera se obtiene un solo dato de precipitación y temperatura para cada uno de los cuatro periodos evaluados.

Los resultados para el Oriente Antioqueño de acuerdo a estos escenarios se muestran en las Figura 17 y Figura 18 .

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

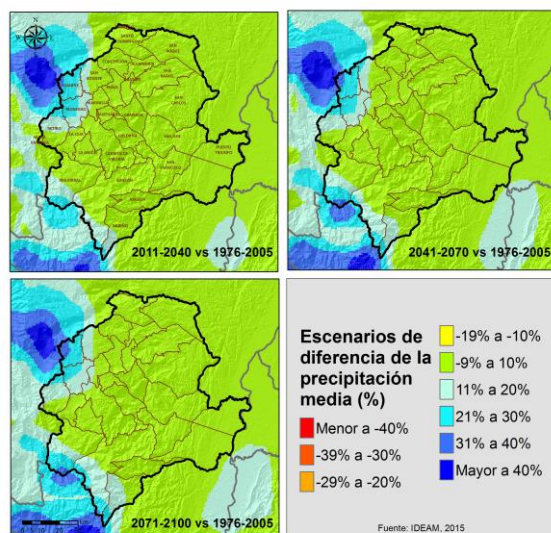


Figura 19. Escenarios de precipitación para tres periodos de acuerdo a IDEAM (2015).

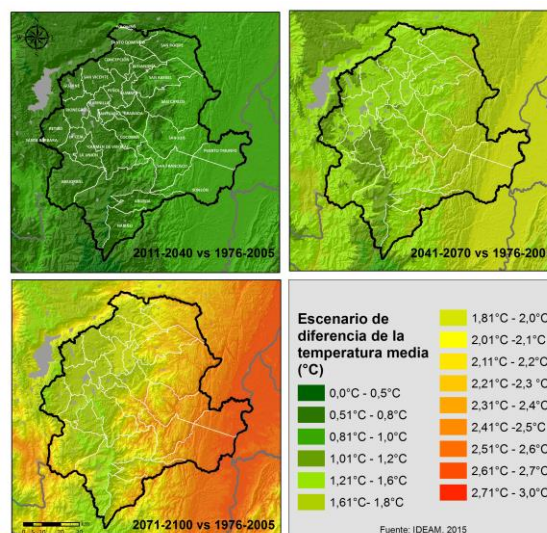


Figura 20. Escenarios de temperatura para tres periodos de acuerdo a IDEAM (2015).

Según este análisis, los mayores cambios en precipitación se esperan en la subregión del Valle de San Nicolás en los municipios de Rionegro, Guarne y El Retiro, mientras que se estiman menores cambios para las Subregiones de Aguas, Bosques y Porce Nus. En cuanto a temperatura, el panorama de cambios es mayor en la subregión de Bosques en los municipios de Puerto Triunfo, San Luis y San Francisco con cambios mayores a 2°C para finales del presente siglo, mientras que los cambios menores en temperatura se encuentran hacia los municipios de la subregión de Valles de san Nicolás (Tabla 6; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 6. Cambios esperados de precipitación y temperatura por municipio

	Precipitación % Cambio			Temperatura °C		
	2010-2040	2040-2070	2070-2100	2010-2040	2040-2070	2070-2100
Valles de San Nicolás						
Carmen de Viboral	0.11	0.25	0.48	0.67	1.17	1.77
El Retiro	6.92	7.05	7.31	0.49	1.14	1.58
El Santuario	1.00	1.00	1.00	0.65	1.18	1.70
Guarne	19.76	25.75	25.84	0.65	1.15	1.61
La Ceja	0.37	0.22	0.15	0.65	1.16	1.70
La Unión	1.00	1.00	1.00	0.50	1.11	1.57
Marinilla	1.05	2.02	1.84	0.65	1.20	1.71
Rionegro	16.82	17.12	16.48	0.65	1.19	1.61
San Vicente	3.93	5.98	4.66	0.65	1.19	1.71
Santa Bárbara	1.00	7.50	6.25	0.48	1.12	1.53
Porce- Nus						

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Alejandro	1.00	1.00	1.00	0.65	1.45	1.98
Concepción	1.00	1.00	1.00	0.65	1.19	1.76
San Roque	1.00	1.00	1.00	0.75	1.51	2.17
Bosques						
Cocorná	1.00	1.00	1.00	0.71	1.48	2.07
San Francisco	1.00	1.00	1.00	0.80	1.58	2.28
San Luis	1.00	1.00	1.00	0.79	1.57	2.27
Puerto Triunfo	1.00	1.00	1.00	0.90	1.79	2.57
Aguas						
El Peñol	1.00	1.00	1.00	0.65	1.20	1.77
Granada	1.00	1.00	1.00	0.67	1.46	1.93
Guatapé	1.00	1.00	1.00	0.65	1.20	1.78
San Carlos	1.00	1.00	1.00	0.78	1.55	2.20
San Rafael	1.00	1.00	1.00	0.74	1.48	2.15
Paramo						
Abejorral	4.81	7.47	7.70	0.67	1.18	1.79
Nariño	2.60	4.98	6.71	0.70	1.46	2.00
Argelia	1.00	1.00	1.00	0.71	1.49	2.08
Sonsón	1.24	2.21	3.07	0.72	1.51	2.16

5.2 Amenazas hidro – meteorológicas seleccionadas para el oriente antioqueño

Existe una clara relación entre las variaciones en las condiciones climáticas y la manifestación de fenómenos que pueden ocasionar importantes daños y pérdidas en el territorio (IPCC 2014). Estos fenómenos pueden ser de origen meteorológico, como es el caso de oleadas de calor, las heladas y las tormentas; de origen hidrometeorológico, como las crecientes, los desbordamientos, las inundaciones súbitas y los movimientos en masa; de origen hidroclimático como las sequías, las inundaciones de largo plazo y las fases extremas de variabilidad climática. Pueden responder también al cambio global, como el cambio climático, el derretimiento de glaciares y el ascenso del nivel del mar, entre otros (UNGRD 2015).

El Oriente Antioqueño no está exento a los impactos de estos fenómenos. Por esta razón se generaron insumos cartográficos que permitieran evidenciar las zonas susceptibles a remoción en masa, inundación e incendios forestales en las áreas evaluadas, teniendo como insumos datos de diversas fuentes.

5.2.1 Zonas susceptibles a deslizamientos de tierra

Las áreas susceptibles a remoción en masa se ubican en zonas con fuertes pendientes y en muchos casos, deterioradas por malos usos del suelo. Los lugares del oriente antioqueño donde se presenta la más alta amenaza (muy alta) se ubican en los municipios de Santa Bárbara (con la mayor área en

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

amenaza alta), Guarne, San Rafael, Alejandría, Peñol, San Vicente, Nariño, San Fernando, Sonsón, Puerto Triunfo, San Carlos y San Roque. Las áreas que poseen amenaza alta y moderada, se distribuyen a lo largo de una buena parte de la región, observándose una importante concentración en el norte y centro del Oriente Antioqueño. Es relevante también mencionar que los municipios ubicados en las zonas norte y centro, poseen gran parte del área o toda el área como susceptible a remociones en masa (ver Figura 21).

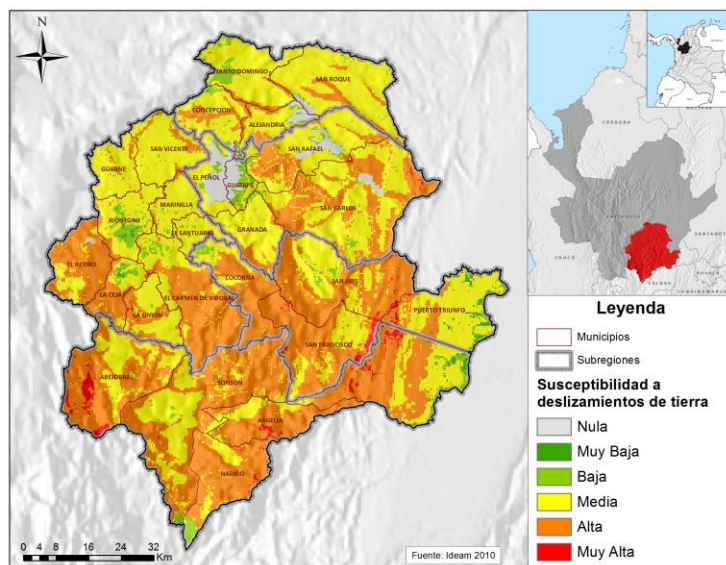


Figura 21. Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra en el Oriente antioqueño. Fuente: IDEAM (2010).

5.2.2 Zonas susceptibles a inundación

A diferencia de las remociones en masa, las zonas de inundación se ubican en áreas de menores pendientes que responden a los pulsos hidrológicos de la región. Sin embargo, el incremento del impacto de dichos eventos posiblemente pueda estar asociado con y acentuado por el manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas. A pesar de presentarse zonas susceptibles a inundación a lo largo de casi todos los territorios asociados a los ríos de la región, existen zonas donde la susceptibilidad aparentemente es mayor, como es el caso de Río Negro, Puerto Triunfo, Nariño, Sonsón, límites de San Luís y zonas puntuales en otros municipios del territorio (Figura 22).

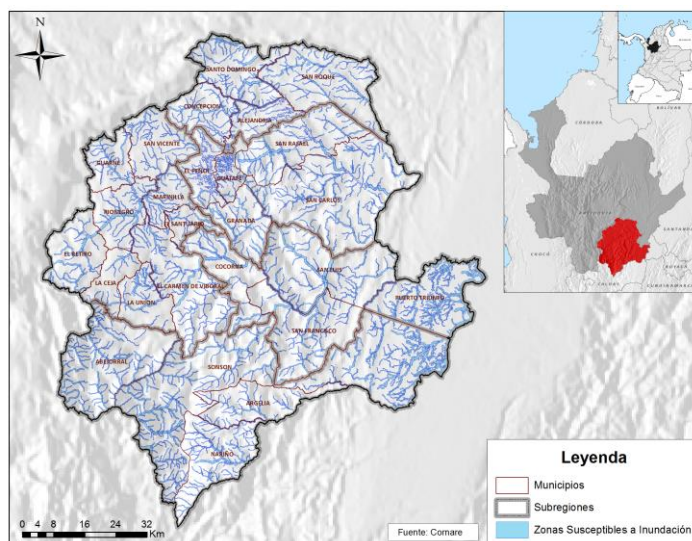


Figura 22. Susceptibilidad a inundaciones en el Oriente Antioqueño. Fuente: CORNARE

La Ola Invernal 2010 – 2011, atribuida al fenómeno de la Niña, representó uno de los eventos de variabilidad climática más desastrosos de la historia del país, dejando consigo miles de millones de pesos en pérdidas económicas, cientos de personas afectadas y un conjunto de infraestructuras y procesos averiadas o interrumpidos por los fenómenos detonados por variaciones extremas en la precipitación (CEPAL 2012). Como un ejercicio pedagógico y que intenta resaltar lo que sólo un evento de esta magnitud pudo ocasionar en un territorio que no se encontraba adaptado para ello, a continuación se muestran los principales resultados de los daños y pérdidas registrados para el departamento de Antioquia.

Durante este evento se registraron más de 150 muertos y desaparecidos, 176.874 personas, 29.168 viviendas y 28.726 hogares afectados por inundaciones, 8946 por deslizamientos, 2.359 por vendavales y 3.046 por avalanchas. Los costos en reparación o reconstrucción de 16.305 viviendas en la zona urbana se estiman en 89.550 millones de pesos. De forma adicional, se estimaron 85.329 millones de pesos en costos de reparación o reconstrucción de 11.889 viviendas de la zona rural. Los costos en infraestructura de agua y saneamiento básico son de aproximadamente 7.742 millones de pesos.

En relación a las entidades prestadoras del servicio de salud, se registraron 21 afectadas, así como 194 sedes educativas. En cuanto al sector transporte, durante la ola invernal, Antioquia registró las mayores pérdidas en millones de pesos junto con Norte de Santander y Santander, el valor estimado fue de 326.694 millones de pesos. Para el sector agropecuario, el valor estimado fue de 34.375 millones de pesos y para el sector energético los daños estimados son de 2.940 millones de pesos. Finalmente en obras de mitigación se estimaron como requeridos 32.759 millones de pesos (CEPAL 2012).

5.2.3 Zonas afectadas por incendios forestales

En cuanto a los incendios forestales (figura 21), diversos autores afirman que la mayoría de los ocasionados en el territorio colombiano son de origen antrópico. Sin embargo, suelen estar asociados

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

a la acumulación de hojarasca y material seco durante épocas de sequía lo cual los hace más susceptibles a la ocurrencia de estos fenómenos (MAVDT, IDEAM, PNUD y GEF 2010). Es por esta razón, que para evitar mayores impactos sobre los agro ecosistemas, las áreas naturales y el suelo en un contexto en el que se esperan incrementos de temperatura a futuro y cambios en la precipitación, se requiere de la promoción mejores prácticas asociadas a los procesos productivos y prácticas culturales. Para el caso del área evaluada, la mayor densidad de incendios se observa en la zona este de la región, en los municipios de Puerto Triunfo, San Francisco, San Carlos y San Luis, entre otras zonas específicas distribuidas en algunos municipios.

Los resultados obtenidos muestran que el Oriente Antioqueño se encuentra expuesto a diversas amenazas climáticas significativas, que ponen en riesgo las comunidades y sus medios de vida, los sectores económicos, las áreas naturales y los ecosistemas que las representan. Teniendo en cuenta que se espera un aumento en la frecuencia e intensidad de la manifestación de dichos fenómenos, es posible suponer que los impactos serán aún mayores a los conocidos si no se identifican las medidas de adaptación que aumenten la capacidad de respuesta en las diferentes dimensiones que comprende el territorio.

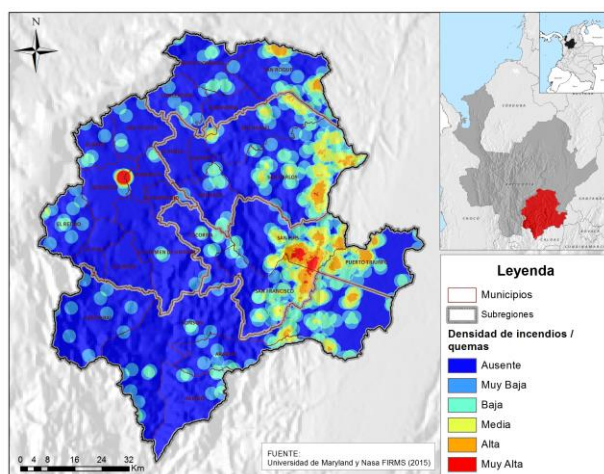


Figura 23. Densidad de incendios forestales anuales en el periodo 2005 - 2013. Fuente: Universidad de Maryland y Nasa FIRMS (2015).

Por otra parte, existen amenazas que tienen incidencia sobre el área evaluada, que han sido mencionadas por los actores locales. Algunas de estas son las olas de calor, los vendavales, las heladas, los desbordamientos, las crecientes, las sequías, las fases extremas de variabilidad climática como el fenómeno del Niño y La Niña, entre otros que serán tenidos en cuenta para la definición de acciones que promuevan la adaptación climática y que permitan ajustar los procesos actuales en torno a un desarrollo compatible con el clima.

5.3 Índice regional de cambio climático

Teniendo en cuenta la necesidad de generar índices integrados se utilizó el índice regional de cambio climático propuesto por Giorgi y Bi (2005), el cual integra las diferencias en precipitación, temperatura con la estacionalidad del periodo de húmedo y seco en un solo indicador (Ver Anexo 4).

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Debido a que los datos de escenarios oficializados por Ideam (2015) se encuentran de manera discreta (clasificados por rangos), se optó por utilizar datos continuos, los cuales permite el análisis detallado entre variables climáticas tomando en cuenta la variabilidad espacio temporal. De esta manera y con base en los modelos de circulación global y conversaciones con especialistas del Ideam, se seleccionó la trayectoria de emisiones RCP6.0, la cual mantiene cierto parecido con el ensamble realizado por Ideam y cuenta con una concentración de emisiones esperada más acorde con las políticas que actualmente el país está generando a nivel nacional. Y en este mismo sentido se escogió el periodo 2040 – 2069, basándonos en una línea de tiempo prudencial en donde las acciones para mejorar resiliencia tengan el tiempo para generar procesos a nivel estructural de los componentes aquí analizados.

Los mayores cambios esperados para el Oriente Antioqueño en las variables de precipitación y temperatura para el 2040 – 2069, con respecto a la normal climática actual (Figura 24; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), posiblemente se darán en los extremos oriental y occidental de la jurisdicción de Cornare, en los municipios de Puerto Triunfo, El Retiro, La Ceja, La Unión y Rionegro. Los menores cambios se esperan principalmente al norte y centro de la jurisdicción de Cornare, municipios de Santo Domingo, Concepción, San Roque, San Carlos y San Rafael. Las áreas restantes sufrirán cambios intermedios en relación con las demás descritas anteriormente.

Las condiciones climáticas esperadas en el Oriente Antioqueño traerán consigo importantes variaciones en las áreas naturales, los sistemas humanos y las actividades económicas y productivas, lo cual implicará realizar ajustes e implementar estrategias que permitan a los actores que habitan el territorio tener la capacidad para adaptarse, asumiendo los nuevos retos y oportunidades de un clima cambiante.

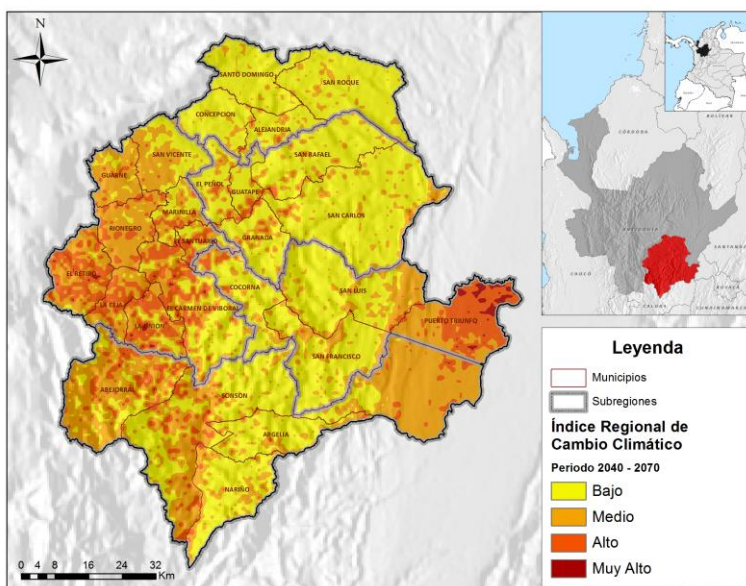


Figura 25. Índice regional de cambio climático.

5.4 Índice de peligro climático

Como mencionamos en la primera parte del documento, el Índice de peligro climático pretende reflejar las condiciones climáticas a las que se encuentra expuesto el territorio y sus diversos componentes, incluyendo así la estimación del cambio futuro esperado en las condiciones de temperatura y precipitación. De igual forma, tiene en cuenta los fenómenos físicos potencialmente peligrosos de origen climático que tienen incidencia en el territorio, como son las inundaciones, los deslizamientos y la ocurrencia de incendios forestales.

El cálculo de este indicador para el periodo 2040 – 2069 se realiza tomando en cuenta la subdivisión municipal como unidad de análisis de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$IPC = \overline{IRCC} + \overline{IEFC}$$

Donde:

IPC es el índice de peligro climático

IRCC es el Índice Regional de Cambio Climático normalizado entre 0 y 1 entre los municipios del Oriente Antioqueño (ver Anexo 4)

IEFC es el índice de Exposición a Fenómenos Climáticos exacerbados por la variabilidad climática normalizado entre 0 y 1 entre los municipios del Oriente Antioqueño, calculado mediante la suma del porcentaje de áreas susceptibles a inundación (PI), el índice de susceptibilidad a deslizamientos de tierra (ISDT) y la densidad de incendios por km² a nivel municipal (DIM)

$$IEFC = \overline{PI} + \overline{ISDT} + \overline{DIM}$$

Todos los cálculos en este informe se basan en un conjunto de variables (análisis multivariado) que se sintetizan en un indicador que los integra, cada uno de ellos es normalizado entre 0 y 1, representando una jerarquización de los municipios para cada una de las variables e índices, por lo cual los resultados aquí descritos muestran el grado de peligro, vulnerabilidad y riesgo en comparación entre los municipios de la jurisdicción de Cornare y no un comparativo con otras regiones del país. Ésta normalización se realiza mediante la siguiente operación:

$$\bar{X}_i = (X_i - X_{\min_i}^n) / (X_{\max_i}^n - X_{\min_i}^n)$$

Donde:

\bar{X}_i es el valor del indicador X normalizado para el municipio i

X_i es el valor del indicador X para el municipio i

$X_{\min_i}^n$ es el valor mínimo del indicador X para los 26 municipios del oriente antioqueño

$X_{\max_i}^n$ es el valor máximo del indicador X para los 26 municipios del oriente antioqueño.

Como resultado del cálculo del índice de Peligro Climático para el Oriente Antioqueño se observa en valores muy altos y altos en los municipios de Puerto Triunfo, Sonsón, San Luis, Rionegro, El Retiro La Unión, Abejorral, mientras que la zona norte es la región con menos peligro climático en los municipios de Santo Domingo, Concepción, El Peñol y Guatapé (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Figura 26),

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

).

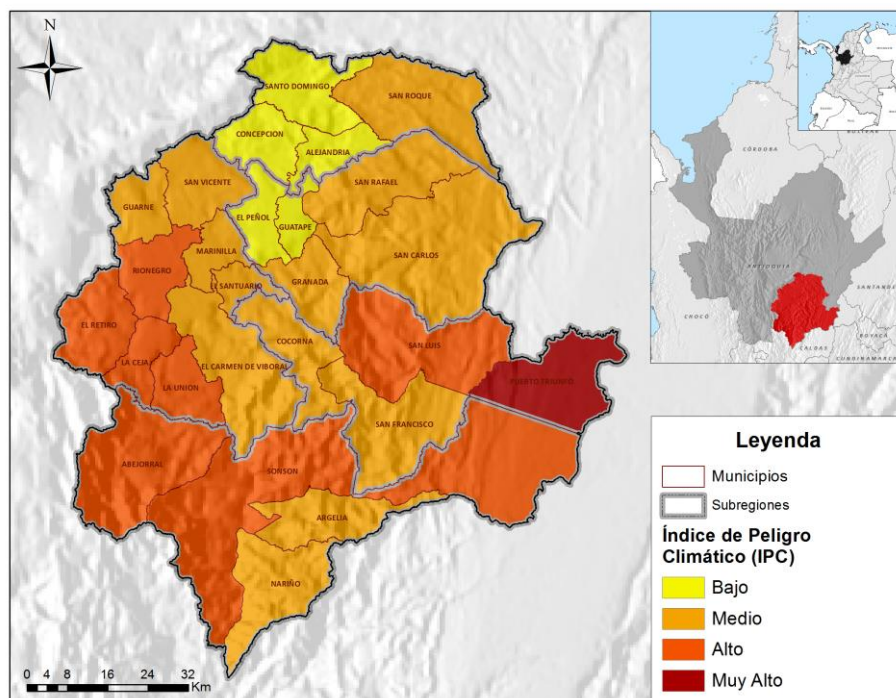


Figura 27. Índice de peligro climático para los municipios del Oriente Antioqueño

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Tabla 7. Índice de peligro climático y sus variables por municipio

Municipio	Índice Regional de cambio Climático IRCC	Porcentaje de Áreas Susceptibles Inundación PI	Índice de Susceptibilidad Deslizamientos de Tierra ISDT	Densidad de Incendios por km ² IM	Índice de Peligro Climático IPC
VALLES DE SAN NICOLAS					
El Carmen de Viboral	0.17	13.73	3.64	0.01	Medio
El Retiro	0.26	13.86	3.75	0.09	Alto
El Santuario	0.20	15.79	2.97	0.01	Medio
Guarne	0.15	13.93	3.05	0.03	Medio
La Ceja	0.22	9.08	3.42	0.02	Alto
La Unión	0.24	14.09	3.35	0.00	Alto
Marinilla	0.15	20.27	3.02	0.09	Medio
Rionegro	0.19	17.78	2.85	0.17	Alto
San Vicente	0.10	11.94	3.09	0.05	Medio
Porce Nus					
Alejandro	0.09	12.61	2.66	0.01	Bajo
Concepción	0.06	16.30	3.13	0.11	Bajo
San Roque	0.06	17.55	3.07	0.16	Medio
Santo Domingo	0.05	20.86	2.94	0.05	Bajo
Paramos					
Abejorral	0.17	17.61	3.76	0.03	Alto
Argelia	0.09	14.16	3.80	0.09	Medio
Nariño	0.10	20.49	3.78	0.06	Medio
Sonsón	0.14	21.03	3.60	0.16	Alto
Bosques					
Cocorná	0.11	14.83	3.65	0.06	Medio
Puerto Triunfo	0.31	32.88	3.00	0.27	Muy Alto
San Francisco	0.08	15.15	3.77	0.34	Medio
San Luis	0.09	16.37	3.64	0.42	Alto
Aguas					
El Peñol	0.10	7.47	1.67	0.01	Bajo
Granada	0.09	21.14	3.15	0.06	Medio
Guatapé	0.09	5.81	1.53	0.01	Bajo
San Carlos	0.07	15.44	3.39	0.23	Medio
San Rafael	0.07	14.79	2.99	0.12	Medio

6. Resultados análisis de vulnerabilidad climática

6.1 Vulnerabilidad social

Como se mencionó en las anteriores secciones, la vulnerabilidad climática se refiere a las condiciones de predisposición / propensión de un sistema a ser afectado negativamente por manifestaciones climáticas. La materialización histórica de estas consecuencias es una base importante para promover acciones sobre situaciones que ya están ocurriendo y que de no ser abordadas aumentarán las condiciones de vulnerabilidad de los territorios. Así, comprender las dinámicas del comportamiento de los desastres y las amenazas que los ocasionan es una oportunidad para evitar daños y pérdidas futuras. Por lo tanto, el **Índice de Vulnerabilidad social**, desarrollado a partir del análisis de afectación histórica por emergencias y desastres detonados-relacionados con el clima, refleja la predisposición histórica de los municipios a ser afectados por amenazas hidro meteorológicas.

6.1.1.1 Número de Afectaciones Humanas (NAH)

Con base en las anteriores consideraciones, se recopilaron los registros provenientes del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (Desinventar) para todos los municipios del Oriente Antioqueño, los cuales reflejan algunos de los impactos reportados durante el periodo 1970 - 2011 en relación a la incidencia de 10 amenazas climáticas: deslizamientos, granizadas, heladas, incendios forestales, inundación, olas de calor, tempestad, tormentas eléctricas, vendavales y sequías. Estos resultados, además de proveer información base para la formulación de índices relacionados con impactos generados por fenómenos físicos potencialmente peligrosos detonados por el clima, permitieron desarrollar análisis previos para la identificación de los municipios aparentemente más expuestos así como los componentes del territorio frecuentemente afectados. A continuación se muestra el análisis consolidado de afectaciones humanas (Tabla 8).

El mayor número de afectaciones en el periodo evaluado se presentó en el municipio de Puerto Triunfo, expresado como el más alto valor de damnificados, de personas evacuadas, de reubicados y de desaparecidos. Sin embargo, aún son altos los valores de afectaciones atribuidas a la manifestación de amenazas climáticas para el resto de municipios evaluados, lo cual indica que los territorios del Oriente Antioqueño han sido escenario de desastres y estarán aún más expuestos teniendo en cuenta las condiciones y variaciones climáticas esperadas.

6.1.1.2 Número de Afectaciones a Infraestructura de Vivienda (NAI)

Al igual que para el caso del número de personas afectadas, para el caso del número de afectaciones a infraestructura de vivienda el municipio de Puerto Triunfo presenta los mayores valores como producto de la incidencia de las amenazas climáticas evaluadas, seguido de Rio Negro, Marinilla y San Roque (Tabla 9). Los datos anteriores demuestran que aspectos fundamentales para el desarrollo

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

de la vida humana, en este caso la vivienda, también han sufrido impactos con el paso del tiempo, posiblemente a causa de la influencia de variaciones climáticas sobre el comportamiento de los fenómenos de origen meteorológico, hidrometeorológico, hidroclimático y de cambio global.

Tabla 8. Consolidado de afectaciones humanas a causa de la manifestación de amenazas climáticas en el Oriente Antioqueño durante el periodo 1970 – 2011.

Municipio	Número de muertos	Número de desaparecidos	Número de heridos o enfermos	Número de afectados	Número de reubicados	Número de evacuados	Número de damnificados
Puerto Triunfo	1	500	2	16589	30	550	3075
Abejorral	0	0	0	245	0	0	45
Alejandro	0	0	0	345	0	0	500
Argelia	2	0	10	575	0	0	174
El Carmen de Viboral	2	0	7	1657	0	0	88
Cocorná	0	0	0	2705	0	0	1018
Concepción	0	0	0	355	0	0	0
Granada	0	0	0	2282	0	0	867
Guarne	1	0	1	2820	0	0	25
Guatapé	0	0	0	50	0	0	0
La Ceja	1	0	0	1188	4	4	89
La Unión	9	0	0	2930	0	0	60
Marinilla	0	0	0	3637	0	20	379
Nariño	12	0	0	742	0	0	475
El Peñol	5	0	0	717	0	0	70
El Retiro	0	0	2	386	0	0	0
Rionegro	9	0	10	12113	0	0	283
San Carlos	3	0	8	3116	0	0	33
San Francisco	3	1	2	1960	0	0	740
San Luis	3	0	6	250	0	0	75
San Rafael	4	0	10	7948	0	8	93
San Vicente	0	0	0	1055	0	122	207
El Santuario	0	0	0	1319	0	0	40
Sonsón	5	0	0	3138	0	0	820
Yolombó	1	0	0	28	13	0	244
Santo Domingo	4	0	0	1187	0	0	342
San Roque	13	4	6	6131	0	6	777
Santa Bárbara	2	0	2	4151	0	6	182

Tabla 9. Consolidado de afectaciones en la infraestructura de vivienda a causa de la manifestación de amenazas climáticas en el Oriente Antioqueño durante el periodo 1970 – 2011.

Municipio	Número de viviendas afectadas	Número de viviendas destruidas
Puerto Triunfo	2400	100
Abejorral	55	2

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Alejandro	169	0
Argelia	153	26
El Carmen de Viboral	83	7
Cocorná	411	4
Concepción	0	0
Granada	259	77
Guarne	176	34
Guatapé	10	0
La Ceja	5	4
La Unión	293	4
Marinilla	1029	5
Nariño	164	21
El Peñol	33	16
El Retiro	64	10
Rionegro	2339	8
San Carlos	485	13
San Francisco	527	13
San Luis	209	4
San Rafael	166	17
San Vicente	87	0
El Santuario	53	5
Sonsón	843	4
Yolombó	21	6
Santo Domingo	267	1
San Roque	1127	16
Santa Bárbara	516	8

Al observar los datos por tipo de evento, se evidenció que los vendavales han ocasionado el mayor número de afectaciones dejando un total de 30,082 personas afectadas, 5,792 viviendas afectadas, 4,370 damnificados y 86 viviendas destruidas, siendo los municipios de El Carmen de Viboral, La Unión, San Carlos, San Francisco y Santa Bárbara los más impactados. Le siguen en número de afectaciones las inundaciones con 30,499 personas afectadas, 5,437 viviendas afectadas, 2,952 damnificados y 119 viviendas destruidas. El mayor número de afectaciones se registró en los municipios de Rionegro, San Roque, Marinilla, Sonsón y El Santuario. Finalmente, para el caso de los deslizamientos, se reportan 15,742 personas afectadas, 1,218 viviendas afectadas, 2,064 damnificados y 149 viviendas destruidas, siendo los municipios de San Rafael, Santa Bárbara y Cocorná los más afectados.

De acuerdo con estos resultados, los vendavales, las inundaciones y los deslizamientos poseen los más altos valores de daños y pérdidas humanas y de infraestructura de vivienda en el periodo evaluado. En relación a las otras amenazas evaluadas los datos son muchos más bajos que las anteriores. Es importante mencionar que el análisis presentado responde únicamente a las afectaciones humanas y de infraestructura de vivienda debido a la escasez de datos para otros componentes del territorio.

Como se evidenció anteriormente el Oriente Antioqueño se encuentra inmerso en un contexto departamental pobremente adaptado a las condiciones que pueden generar las variaciones climáticas

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

actuales y esperadas. Si no se definen e implementan las medidas de adaptación necesarias, serán de esperar aún mayores impactos de estos fenómenos. De igual forma, no sólo son vulnerables algunos elementos del territorio si no un amplio panorama de componentes que determinan el desarrollo, el cual no será compatible con el clima si no se definen estrategias acertadas y acordes al contexto local.

Para el cálculo del indicador de vulnerabilidad social se realizó una sumatoria de las variables tenidas en cuenta en el número de afectaciones humanas y el número de afectación de infraestructura (Tabla 8 y Tabla 9) de acuerdo con la siguiente ecuación, posteriormente normalizada de acuerdo al método explicado en la sección anterior:

$$VS_i = \overline{NAH}_i + \overline{NAI}_i$$

Donde:

VS_i es la Vulnerabilidad Social del municipio i

\overline{NAH}_i es el número de afectaciones humanas a causa de la manifestación de fenómenos climáticos producto de la suma de variables presentes en la Tabla 8.

\overline{NAI}_i es el número de afectaciones en infraestructura a causa de la manifestación de fenómenos climáticos producto de la suma de las variables presentes en la Tabla 9.

Luego de un proceso de normalización de afectación (calculado con base en daños y afectaciones por cada 100.000 habitantes), obtuvimos los resultados finales del índice de vulnerabilidad social por municipio (Figura 24).

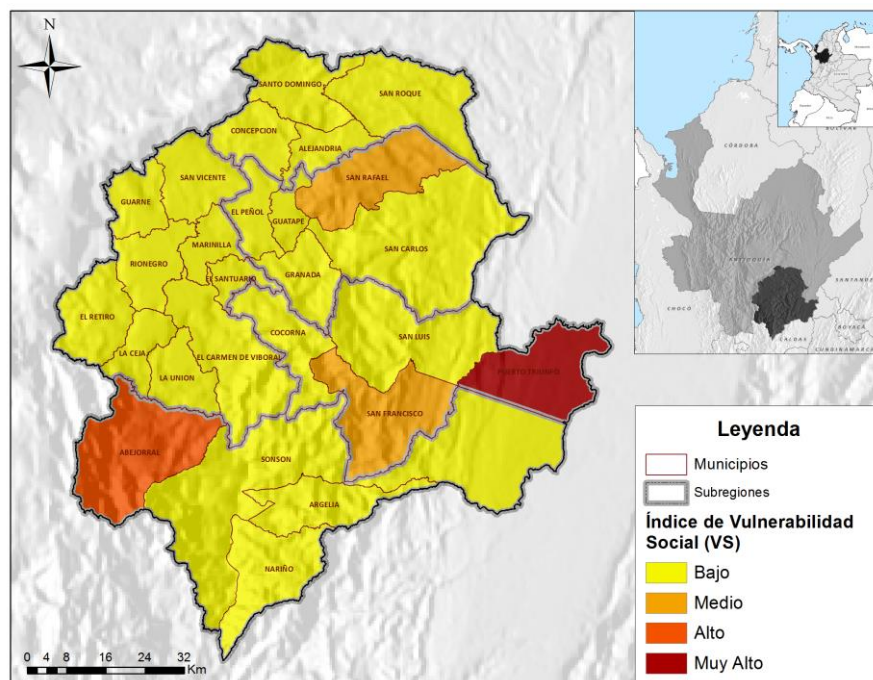


Figura 28. Índice de vulnerabilidad climática – componente social

6.2 Vulnerabilidad ambiental-biodiversidad

Las áreas naturales del Oriente Antioqueño proporcionan numerosos servicios ecosistémicos que son la base y el sustento de diversos actores sociales y económicos, permitiendo el desarrollo de la vida de sus habitantes. Al igual que otros componentes del territorio, las áreas naturales también se encuentran expuestas a transformaciones antrópicas y amenazas climáticas que ponen en peligro las dinámicas de regulación hídrica o climática dentro de los ecosistemas.

Con el propósito de conocer que tan predispuesto está el sistema natural a los impactos del cambio climático, se adapta el índice de riesgo ecológico propuesto por Mattson y Angermeier (2006), como medida del estado en que se encuentran las cuencas hidrográficas y sus ecosistemas en el Oriente Antioqueño y aprovechar dichos resultados para el desarrollo de interpretaciones asociadas a la predisposición de los impactos asociados al cambio climático. Este índice integra la frecuencia de varios agentes de degradación con estimaciones de su efecto potencial sobre algunos factores ambientales de importancia, como la calidad del agua, calidad de hábitat, interacciones bióticas y el régimen hidrológico. De esta manera áreas con mayor vulnerabilidad al cambio climático son aquellas en donde los motores de cambio se encuentran con mayor frecuencia y severidad.

Como se indicó en la sección conceptual, se tienen entonces que el **Índice de Vulnerabilidad - Biodiversidad**, desarrollado a partir del análisis de motores de transformación de ecosistemas del Oriente Antioqueño (Figura 25), refleja que ecosistemas sometidos a una mayor presión / transformación, tienen una mayor predisposición /propensión a ser afectados negativamente por un clima cambiante. El cálculo de éste indicador se amplía en el Anexo 5.

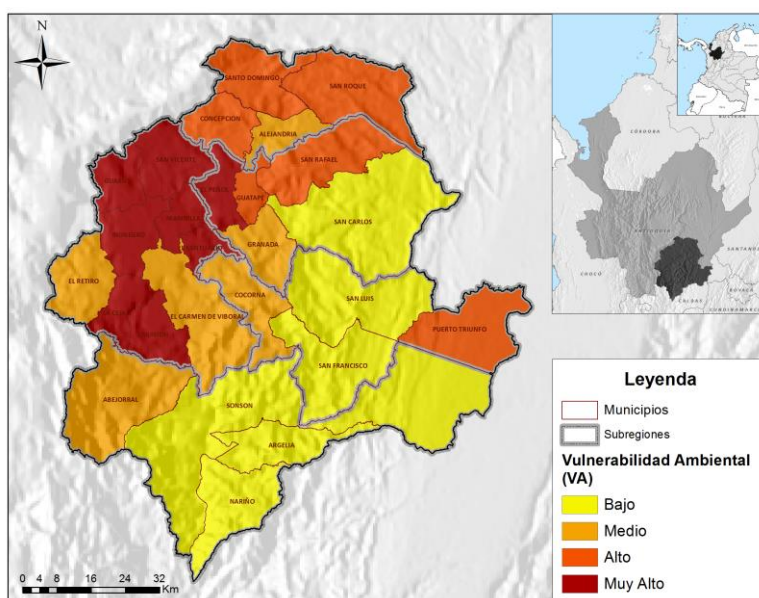


Figura 29. Índice de vulnerabilidad climática – componente biodiversidad

6.3 Vulnerabilidad económica-sectorial

El Índice de Vulnerabilidad sectorial está Desarrollado a partir del análisis de desempeño fiscal y la participación en el PIB de cada municipio del Oriente Antioqueño. Este índice refleja que municipios con más baja participación en el PIB y más bajo desempeño fiscal tienen una mayor predisposición /propensión desde una perspectiva económica/sectorial a ser afectados negativamente.

El cálculo de este indicador se hizo mediante la siguiente ecuación, cuyos resultados se normalizaron posteriormente como se mencionó en secciones anteriores:

$$VEI_i = \overline{IDF}_i + \overline{PMPIB}_i$$

Donde:

VEI_i es la vulnerabilidad económica – sectorial para el municipio i

\overline{IDF}_i es el índice de desempeño fiscal normalizado para el municipio i y

\overline{PMPIB}_i es el peso relativo municipal en el PIB departamental normalizado para el municipio i, éstos dos últimos explicados a continuación.

6.3.1 Índice de desempeño fiscal (IDF)

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Para el cálculo de este indicador se tomó en cuenta el índice de desempeño fiscal a nivel municipal. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), este indicador clasifica las cuentas de ejecución presupuestal de los municipios en un formato coherente de operaciones efectivas de caja, que permite calcular el déficit y el monto de su financiamiento. Este indicador se toma directamente de las estadísticas nacionales del DNP (2013).

6.3.2 Peso relativo municipal en el PIB departamental (PMPIB)

De acuerdo al Departamento Nacional de Estadística (DANE), el PMPIB es un subíndice del indicador de importancia económica municipal y corresponde a la distribución del valor agregado de un departamento entre cada uno de sus distritos y municipios a partir de una estructura obtenida con indicadores sectoriales directos e indirectos. Para el oriente antioqueño, calculamos este índice para el componente económico/sectorial (Figura 26)

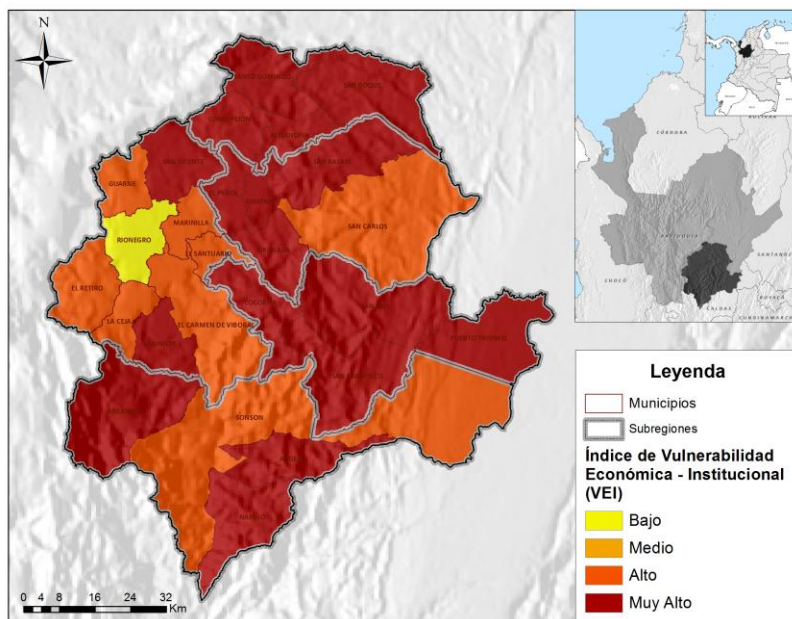


Figura 30. Índice de vulnerabilidad climática – componente económica / sectorial

6.4 Índice integrado de vulnerabilidad climática para el oriente antioqueño

El índice integrado de vulnerabilidad incorpora la vulnerabilidad social, ambiental y económica sectorial en un solo indicador, calculado con la suma de éstos indicadores y posterior normalización entre 0 y 1.

$$IIV_i = \overline{VS}_i + \overline{VA}_i + \overline{VEI}_i$$

Donde:

IIV_i es el índice integrado de vulnerabilidad para el municipio i

\overline{VS}_i es el índice de vulnerabilidad social normalizado para el municipio i

\overline{VA}_i es el índice de vulnerabilidad ambiental normalizado para el municipio i

\overline{VEI}_i es el índice de vulnerabilidad económica – institucional para el municipio i

Los indicadores del componente social permiten evidenciar que los municipios más vulnerables en este componente son Puerto Triunfo, San Francisco y Abejorral, mientras que El Peñol, Guarne, El Santuario, San Luis, El Retiro y El Carmen de Viboral presentan los indicadores sociales más favorables. En cuanto a la parte ambiental el índice de vulnerabilidad en este componente presenta a los municipios de Rionegro, La Ceja, La Unión y Guarne como los más vulnerables y los municipios de San Francisco y Sonsón como los menos vulnerables ambientalmente. En cuanto a la parte económica – institucional los municipios de Argelia, Nariño, Alejandría y Santo Domingo presentan las mayores vulnerabilidades por lo que son los municipios con menos participación en el PIB del departamento de Antioquia y su índice de desempeño fiscal son unos de los más bajos en la región.

Al integrar los conjuntos de índices, los municipios más vulnerables resultan ser Puerto Triunfo, San Vicente, El Santuario, Abejorral, La Unión, Alejandría, Concepción, San Roque y Santo Domingo. Los demás valores de vulnerabilidad se pueden apreciar en la Figura 31 y Tabla 10.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

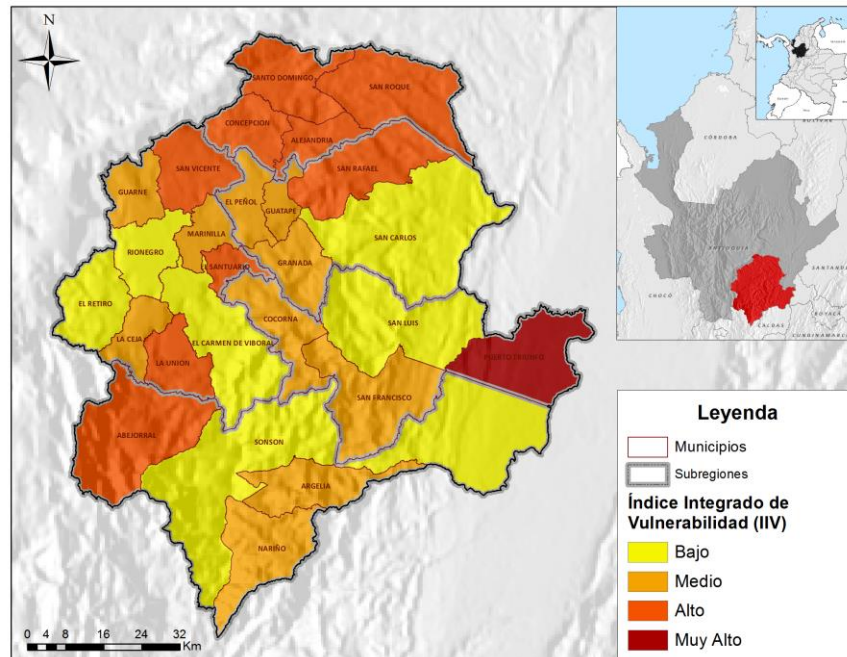


Figura 32. Índice integrado de vulnerabilidad por municipio

Tabla 10. Índice integrado de vulnerabilidad y sus variables por municipio

Municipio	SOCIAL		AMBIENTAL	ECONOMICO - INSTITUCIONAL		Índice Integrado de Vulnerabilidad IIV
	Número de afectaciones Humanas NAH	Número de afectaciones a Infraestructura de Vivienda NAI	Índice de Vulnerabilidad Ambiental VA	Peso relativo municipal en el PIB departamental PMPIB	Índice de desempeño fiscal IDF	
VALLES DE SAN NICOLAS						
El Carmen de Viboral	3751.79	887.68	83.73	0.40	77.65	Bajo
El Retiro	2030.56	1758.43	88.51	0.30	84.72	Bajo
El Santuario	5011.06	774.34	127.97	0.40	74.93	Alto
Guarne	5956.44	18.83	132.78	0.60	82.39	Medio
La Ceja	2439.16	1961.19	126.53	0.50	80.40	Medio
La Unión	15685.97	967.62	122.30	0.20	69.82	Alto
Marinilla	7561.73	91.81	125.14	0.60	75.03	Medio
Rionegro	10324.41	414.14	130.01	2.40	90.73	Bajo
San Vicente	8047.92	4925.28	123.49	0.20	70.42	Alto
Porce Nus						
Alejoandría	24379.69	1644.55	95.97	0.00	62.14	Alto
Concepcion	10251.23	2598.90	103.90	0.00	65.94	Alto
San Roque	41318.72	345.46	108.76	0.20	66.64	Alto
Santo Domingo	14717.74	2572.97	106.78	0.20	64.52	Alto
Paramos						
Abejorral	1503.37	12960.08	95.11	0.20	71.67	Alto
Argelia	8748.13	1942.75	76.59	0.10	62.08	Medio
Nariño	7107.74	427.97	81.11	0.10	60.30	Medio
Sonsón	11193.33	3228.36	68.84	0.50	76.60	Bajo
Bosques						
Cocorná	24866.42	1195.57	85.54	0.10	64.90	Medio
Puerto Triunfo	103414.42	11698.73	104.76	0.20	72.06	Muy Alto

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

San Francisco	50883.79	4005.27	65.00	0.00	62.05	Medio
San Luis	3053.30	1672.91	70.25	0.10	66.41	Bajo
Aguas						
El Peñol	4984.58	0.00	116.93	0.20	72.59	Medio
Granada	31940.36	101.43	95.49	0.10	66.82	Medio
Guatapé	947.15	5626.07	99.44	0.30	68.27	Medio
San Carlos	19671.31	3361.55	72.58	0.70	69.16	Bajo
San Rafael	62118.64	670.26	102.45	0.20	69.57	Alto

7. Resultados análisis de riesgo climático

7.1 Riesgo social

El riesgo sobre el componente social está definido como la población municipal en condición de riesgo climático y se obtiene a partir del balance entre la población municipal, su respectivo índice de peligro climático y el índice de vulnerabilidad social.

De acuerdo con las cifras del DANE proyectadas al 2015, se estableció una relación con respecto al número de habitantes presentes en cada municipio y el índice de peligro climático, para comparar entre municipios el número de personas en condición de peligro por eventos relacionados con el cambio y la variabilidad climática.

De igual manera que con el componente de riesgo ambiental, aquí se tienen en cuenta el elemento de amenaza o peligro climático representado en la población bajo condición de peligro y un elemento de vulnerabilidad en cuanto a la predisposición a ser afectados, por lo cual, el índice de riesgo climático social es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$IRS_i = P_i * IPC_i * IVS_i$$

Donde:

IRS_i es la población en condición de riesgo en el municipio i

P_i es número de habitantes (población) proyectada al 2015 según DANE en el municipio i

IPC_i es el Índice de Peligro Climático para el municipio i

IVS_i es el índice de vulnerabilidad social para el municipio i

El resultado del índice de riesgo climático, en su componente social, se presenta en la figura 28.

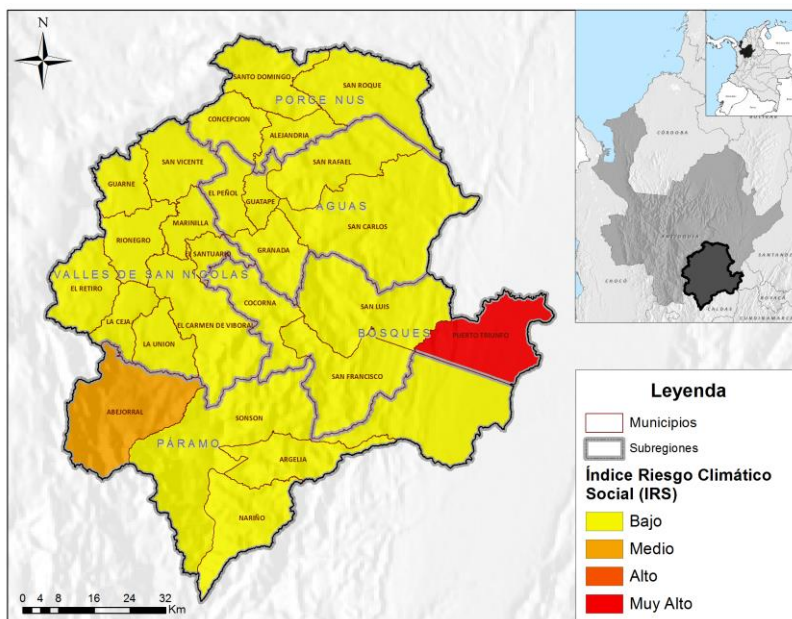


Figura 33. Índice de riesgo climático social por municipio

7.2 Riesgo ambiental-biodiversidad

El riesgo climático en biodiversidad y ecosistemas fue estimado a partir de la evaluación de la variación en el balance hídrico y la clasificación climática de los ecosistemas bajo condiciones de cambio climático proyectadas a futuro.

7.2.1 Porcentaje de cambio en zonas de vida de Holdridge (PCZH)

A partir de la aproximación de Holdridge (1967), según la cual ciertos grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales corresponden a rangos de temperatura, precipitación y humedad (Ver anexo 6), estimamos el porcentaje de cambio en las zonas de vida calculadas con las variables climáticas del escenario actual y futuro para cada una de las unidades de análisis (municipios) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PCZH_i = \frac{ACZH_i}{AUA_i} \times 100$$

Donde:

$PCZH_i$ es el porcentaje de cambio en zonas de vida de Holdridge en el municipio i

$ACZH_i$ es el área de cambio en zonas de vida de Holdridge en el municipio i

AUA_i es el área del municipio i

Exceptuando los municipios de Alejandría, La Unión y Puerto Triunfo, en donde el riesgo climático medido como el porcentaje de cambio en zonas de vida de Holdridge fue igual o inferior a 26.5%, los municipios del oriente antioqueño presentaron valores medios a altos de este índice (Figura 29).

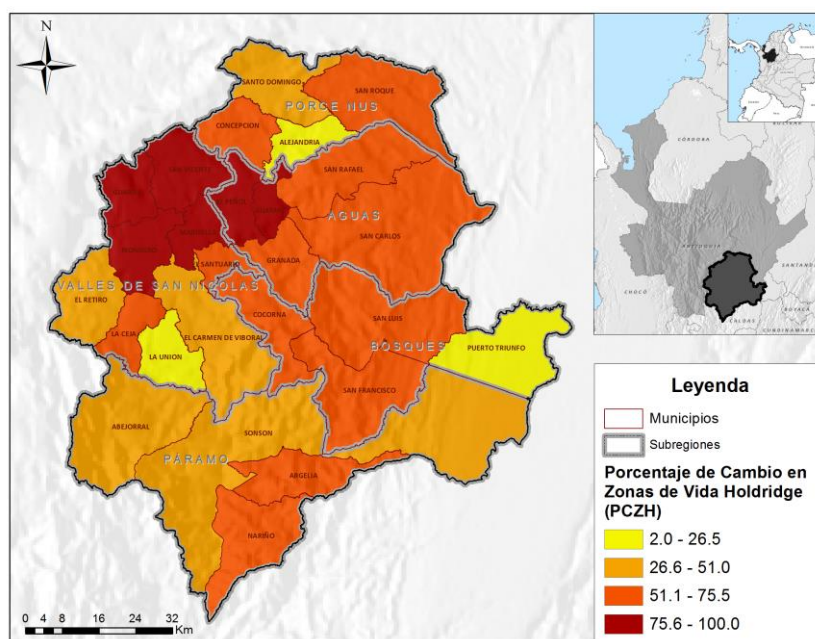


Figura 34. Riesgo climático – cambio en zonas de vida de Holdridge

7.2.2 Porcentaje de cambio en el balance hídrico (PCBH)

La provisión y regulación de agua dulce para fines domésticos, de irrigación, generación de energía y transporte, es un servicio clave de los ecosistemas a lo largo de las cuencas hidrográficas. De acuerdo con el marco de trabajo de conservación basado en el concepto de cuencas hidrográficas, es posible evaluar los servicios que proveen los ecosistemas en cuanto a calidad, cantidad y regulación.

De forma general para evaluar las condiciones hidrológicas bajo un escenario de cambio climático, fue utilizada la herramienta Waterworld, la cual es un sistema de apoyo a políticas basado en el modelo hidrológico FIESTA (Mulligan & Burke 2005) constituido en los principios físicos de precipitación, neblina (lluvia horizontal), infiltración y evapotranspiración. Con base en este modelo y utilizando la normal climática actual se estimó el balance hídrico de referencia, la cual, fue comparada con los escenarios de clima para el RCP6.0 periodo 2040 – 2069.

Para estimar el porcentaje de cambio en el balance hídrico a nivel municipal se calculó el promedio del porcentaje de cambio con relación a cada municipio de la siguiente manera:

$$PCBH_i = \frac{\sum_1^n \left(\frac{BH_f - BH_a}{BH_a} \right)}{n_i}$$

Donde:

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

$PCBH_i$ es el porcentaje de cambio en el balance hídrico en el municipio i

BH_f es el balance hídrico futuro por pixel para el periodo 2040 – 2069 y el RCP 6.0

BH_a es el balance hídrico actual por pixel

n_i son los números de pixeles presentes en el municipio i

Los resultados muestran que los posibles cambios en el balance hídrico son mayores en los municipios de Puerto Triunfo, Guarne y Rionegro, mientras que las zonas de Cocorná, Guatapé y Granada, presentan los menores cambios (Figura 30).

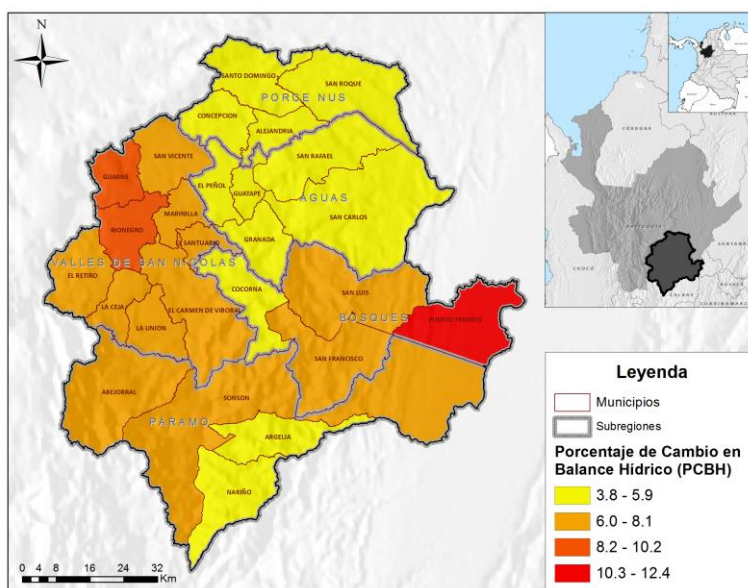


Figura 35. Riesgo climático – cambio en balance hídrico

7.2.3 Índice de riesgo climático ambiental (ira)

Este índice integra el componente ambiental teniendo en cuenta el cambio en el balance hídrico (PCBH), y el porcentaje de cambio en las zonas de vida de Holdridge (PCZH), en relación directa con la vulnerabilidad ambiental. De esta manera se relaciona el peligro climático dado por los cambios en las variables de precipitación - temperatura que se refleja en la clasificación climática de Holdridge y el balance hídrico y la vulnerabilidad dado por la presencia de motores de pérdida de atributos de biodiversidad. Su cálculo se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IRA_i = (\overline{PCZH_i} + \overline{PCBH_i}) * \overline{IVA_i}$$

Donde:

IRA_i es el índice de riesgo ambiental para el municipio i

$\overline{PCZH_i}$ es el porcentaje de cambio de zona de vida Holdridge normalizado para el municipio i

\overline{PCZH}_i es el promedio en el porcentaje de cambio en el balance hídrico normalizado para el municipio i

\overline{IVA}_i es el índice de vulnerabilidad ambiental para el municipio i .

El resultado del índice integrado de riesgo climático, en su componente ambiental/biodiversidad, se presenta en la Figura 36

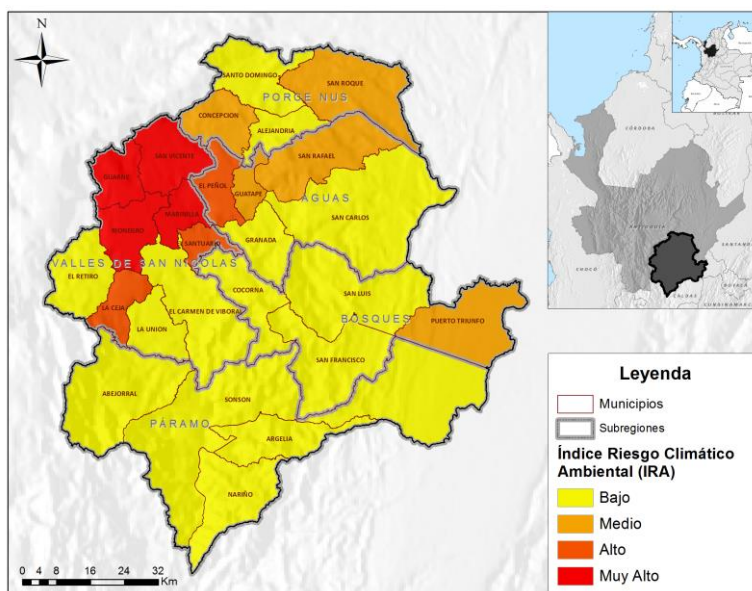


Figura 36. Índice integrado de riesgo climático – componente biodiversidad

7.3 Riesgo económico-sectorial

El riesgo sobre los sectores fue estimado a partir del área agrícola cosechada y de las unidades económicas comerciales y de servicios en condiciones de riesgo. De forma análoga al cálculo de riesgo social, se obtiene a partir del balance entre los indicadores sectoriales municipales con su respectivo índice de peligro climático.

Para el análisis del componente sectorial se toma en cuenta la relación del sector agrícola con las variables de cambio climático y las unidades económicas de la región como fuente de desarrollo económico para diferentes sectores a nivel general.

7.3.1 Área agrícola cosechada en condición de riesgo (AACR)

A partir de los datos nacionales del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2008) se tomaron las áreas agrícolas cosechadas y se relacionaron directamente con el índice de peligro climático y el índice de vulnerabilidad económica – institucional. De esta manera asumimos que un municipio con extensas áreas cosechadas con altos porcentajes de susceptibilidad a inundaciones, deslizamientos e incendios y altos cambios en las variables del clima, junto con una baja gestión municipal y bajo peso

relativo en el PIB departamental es un municipio con alto riesgo sectorial en su componente agrícola y es calculado de la siguiente manera:

$$AACR_i = AAC_i * \overline{IPC_i} * \overline{VEI_i}$$

Donde:

$AACR_i$ es el área agrícola cosechada en condición de riesgo para el municipio i

AAC_i es el área agrícola cosechada en el municipio i

$\overline{IPC_i}$ es el Índice de Peligro Climático normalizado para el municipio i

$\overline{VEI_i}$ es la Vulnerabilidad Económica – Sectorial normalizada para el municipio i

El resultado del de riesgo climático, medido como el área agrícola cosechada en condición de riesgo, se presenta en la Figura 32.

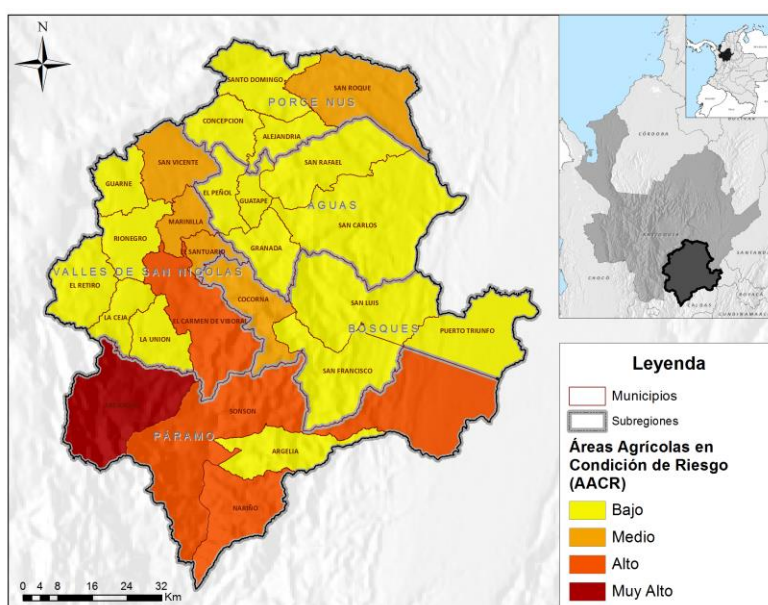


Figura 37. Riesgo climático – área agrícola cosechada en condición de riesgo

7.3.2 Unidades económicas en condición de riesgo (UECR)

De igual manera que el indicador anterior, los sectores económicos en una región se pueden ver afectados de manera general por su exposición a las variables cambiantes del clima y sus efectos exacerbados por fenómenos climáticos, es por ello que basados en el censo del DANE (2005) se tomaron en cuenta las unidades económicas de servicios y comerciales y se relacionaron con el índice de peligro climático y la vulnerabilidad económica – institucional, bajo el mismo precepto que el indicador anterior en donde unidades económicas bajo altos índices de peligro climático y alta vulnerabilidad económica – institucional serán las áreas con mayor riesgo climático sectorial en cuanto a este componente y es calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$UECR_i = (UES_i + UEC_i) * \overline{IPC}_i * \overline{VEI}_i$$

Donde:

$UECR_i$ son las unidades económicas bajo condición de riesgo climático para el municipio i

UES_i es el número de unidades económicas de servicios en el municipio i

UEC_i es el número de unidades económicas comerciales en el municipio i

\overline{IPC}_i es el índice de peligro climático normalizado para el municipio i

\overline{VEI}_i es la vulnerabilidad económica –sectorial normalizada para el municipio i

El resultado del de riesgo climático, medido como las unidades económicas en condición de riesgo, se presenta en la figura 33:

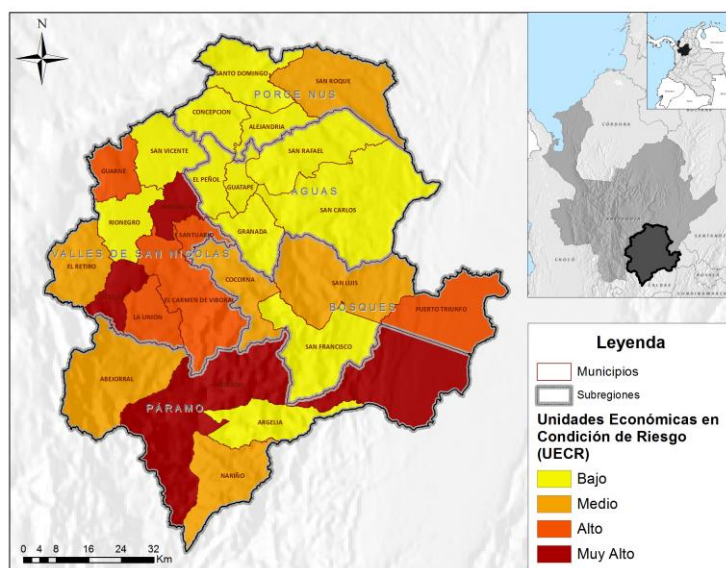


Figura 38. Riesgo climático – Unidades económicas en condición de riesgo

7.3.3 Índice de riesgo climático sectorial (IRSE)

Este índice integra el componente agrícola y económico realizando una suma simple de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IRSe_i = \overline{AACR}_i + \overline{UECR}_i$$

Donde:

$IRSe_i$ es el Índice de riesgo climático sectorial para el municipio i

\overline{AACR}_i es el área agrícola en condición de riesgo para el municipio i

\overline{UECR}_i son las unidades económicas en condición de riesgo para el municipio i

El resultado del Índice Integrado de Riesgo Climático, en su componente económico/sectorial se presenta en la Figura 34:

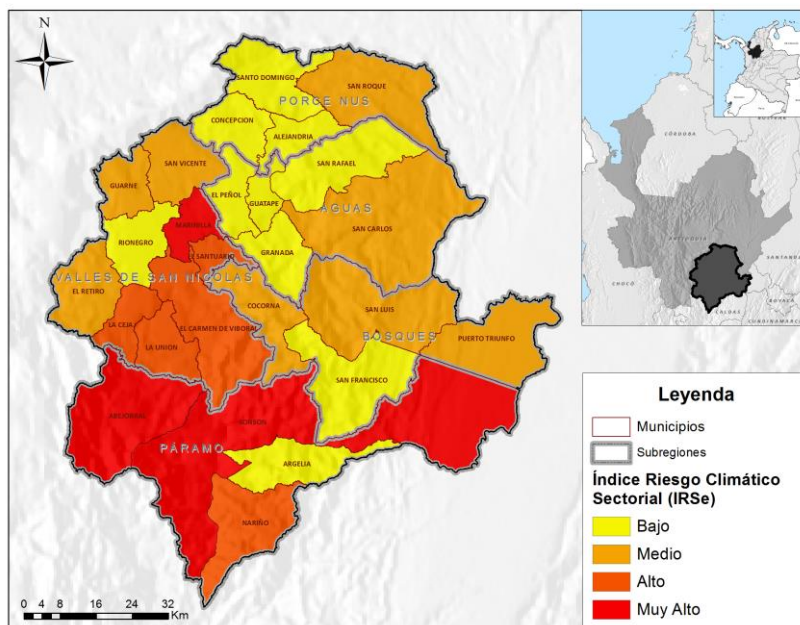


Figura 39. Índice integrado de riesgo climático – componente económico / sectorial

7.4 Índice integrado de riesgo climático para el oriente antioqueño

En el mismo sentido que el índice integrado de vulnerabilidad aquí se combinan los componentes del análisis para generar un solo indicador que agrupe los elementos sociales, ambientales y económicos/sectoriales, realizando una suma simple de cada uno de ellos y posteriormente normalizando entre los municipios del Oriente Antioqueño, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IIRC_i = \overline{IRS_i} + \overline{IRA_i} + \overline{IRSe_i}$$

Donde:

$IIRC_i$ es el Índice Integrado de Riesgo Climático para el municipio i

$\overline{IRS_i}$ es el Índice de riesgo climático social para el municipio i

$\overline{IRA_i}$ es el índice de riesgo climático ambiental para el municipio i

$\overline{IRSe_i}$ es el índice de riesgo climático sectorial para el municipio i

De los resultados obtenidos (Tabla 11 y **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 35) sobresalen los altos índices de riesgo climático de de Puerto Triunfo y Marinilla en comparación con los demás municipios. Y en sentido contrario podemos decir que la subregión de Aguas y Porce Nus y sus municipios, a excepción de El Peñol y San Roque, presentan los valores más bajos de riesgo

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

climático. Esto no quiere decir que no sea prioritario desarrollar acciones para la reducción de la vulnerabilidad, el mejoramiento de su capacidad de adaptación y el incremento de la Resiliencia ante los fenómenos de cambio global: por el contrario, si se analizan los indicadores independientemente, es clara la necesidad que de mejorar algunos indicadores como es el caso de la vulnerabilidad económica – institucional, la cual, para algunos de los municipios pertenecientes a estas subregiones, es alta.

Tabla 11. Índice Integrado de Riesgo Climático y sus variables a nivel municipal

Municipios	Población (2015) en condición de riesgo	Porcentaje de Cambio en Zonas de Vida Holdridge PCZH	Porcentaje de cambio en el balance hídrico PCBH	Índice de riesgo climático ambiental IRA	Área agrícola cosechada en condición de riesgo AACR	Unidades económicas en condición de riesgo UECR	Índice de Riesgo Climático Sectorial IRSe	Índice Integrado de Riesgo Climático IIRC
VALLES DE SAN NICOLAS								
EL CARMEN DE VIBORAL	637	44.83	6.05	0.13	1920	235	0.71	Medio
EL RETIRO	751	44.41	7.50	0.21	188	159	0.28	Bajo
EL SANTUARIO	399	72.05	7.51	0.74	1356	208	0.57	Alto
GUARNE	103	83.64	9.08	1.00	150	224	0.38	Alto
LA CEJA	1799	55.17	7.14	0.58	315	407	0.69	Alto
LA UNION	1055	2.00	6.63	0.19	507	296	0.55	Medio
MARINILLA	416	94.38	7.58	0.85	1363	368	0.82	Muy Alto
RIONEGRO	2933	93.38	8.42	0.97	0	0	0.00	Alto
SAN VICENTE	984	98.42	7.94	0.87	1572	54	0.36	Alto
PORCE NUS								
ALEJANDRIA	94	13.38	4.92	0.08	151	22	0.06	Bajo
CONCEPCION	115	73.08	5.40	0.36	153	26	0.07	Bajo
SAN ROQUE	961	59.10	5.05	0.32	1114	115	0.38	Medio
SANTO DOMINGO	365	43.37	4.57	0.22	667	61	0.21	Bajo
PARAMOS								
ABEJORRAL	5066	50.16	6.17	0.24	3573	103	0.80	Alto
ARGELIA	298	59.36	4.49	0.08	789	53	0.22	Bajo
NARIÑO	206	56.66	5.32	0.12	1890	108	0.51	Medio
SONSON	3115	30.42	7.99	0.03	2349	371	1.00	Alto
BOSQUES								
COCORNA	827	60.09	3.79	0.12	1636	125	0.49	Medio
PUERTO TRIUNFO	20062	9.28	12.36	0.43	115	242	0.40	Muy Alto
SAN FRANCISCO	1045	70.52	6.46	0.00	344	68	0.17	Bajo
SAN LUIS	352	54.66	6.92	0.05	427	181	0.36	Bajo
AGUAS								
EL PEÑOL	0	95.48	4.69	0.56	47	14	0.03	Medio
GRANADA	480	69.02	4.36	0.23	526	51	0.17	Bajo
GUATAPE	0	99.98	3.81	0.35	0	0	0.00	Bajo
SAN CARLOS	1250	66.39	5.72	0.07	854	85	0.28	Bajo
SAN RAFAEL	1072	61.23	4.63	0.27	364	62	0.16	Bajo

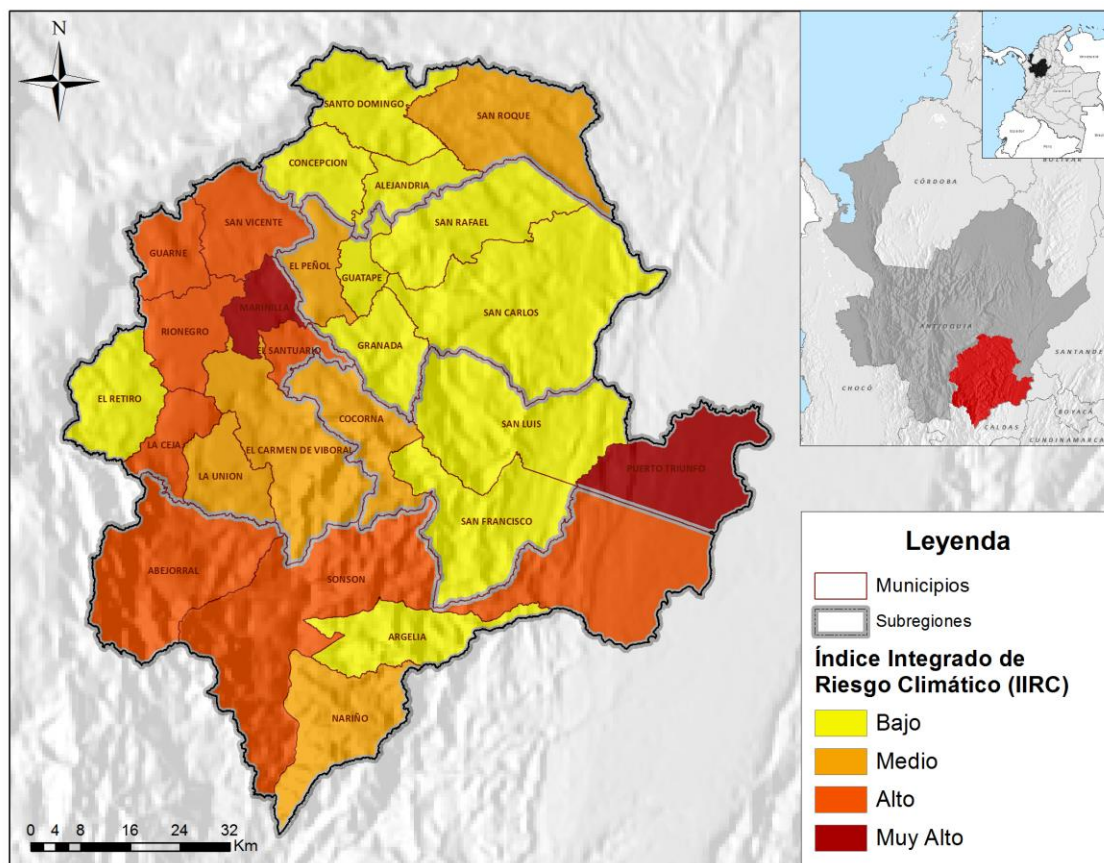


Figura 40. Índice integrado de riesgo climático

8. Resultados capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia climática

En el marco de la construcción de capacidad de adaptación y la consolidación de agendas específicas para trayectorias de resiliencia, se han identificado preliminarmente algunos indicadores, a partir de los cuales se pueden desarrollar estrategias y medidas dentro del Plan de Crecimiento Verde Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño. Este sistema de índices no tiene por ahora un proceso específico de análisis ya que durante la ejecución del Proyecto se espera:

- incorporar en éstos indicadores los conocimientos, percepciones, visiones propias y enfoques locales de los municipios.
- Definir umbrales de capacidad de adaptación/trayectorias de resiliencia para cada uno.

8.1 Dimensión ambiental - biodiversidad

Dentro de los indicadores iniciales para el trabajo en capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia, en su dimensión ambiental y de biodiversidad, se tienen los siguientes:

Dimensión	Espacio de Oportunidad	Indicador de Base
Biodiversidad. Ambiente Físico	Gestión ambiental	Áreas protegidas y otras figuras de conservación de la biodiversidad
	Ordenamiento del territorio	Conflictos de uso de la tierra
	Gestión del riesgo de desastres	Zonificación de áreas en condición de amenaza y en condición de riesgo por eventos de origen hidrometeorológico
	Recurso Hídrico	Vulnerabilidad por disponibilidad de recurso hídrico año seco Índice escasez municipal año seco

8.2 Dimensión social

Dentro de los indicadores iniciales para el trabajo en capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia en su dimensión social, se tienen los siguientes:

Dimensión	Espacio de Oportunidad	Indicador de Base
Social	Desarrollo humano	Alfabetismo Calidad de la educación
	Alivio de la pobreza	Necesidades básicas insatisfechas
	Seguridad alimentaria-medios de subsistencia	Condiciones de vida de la población

8.3 Dimensión institucional y sectorial

Dentro de los indicadores iniciales para el trabajo en capacidad de adaptación y trayectorias de resiliencia, en su dimensión institucional y sectorial, se tienen los siguientes:

Dimensión	Espacio de Oportunidad	Indicador de Base
Institucional	Gestión institucional	Capacidad de Ahorro municipal Dependencia de transferencias nacionales Desempeño integral municipal
Sectorial	Recursos Energéticos	Por definir
	Recursos Agropecuarios	Rendimiento de principales productos agroindustriales

9. Conclusiones preliminares

9.1 Condiciones de peligro climático

Retomando los resultados de la sección 5.4 – Índice de Peligro Climático, tenemos:

- Los mayores cambios en precipitación se esperan en la subregión del Valle de San Nicolás en los municipios de Rionegro, Guarne y El Retiro, mientras que se estiman menores cambios para las Subregiones de Aguas, Bosques y Porce Nus.
- En cuanto a temperatura el panorama de cambios es mayor en la subregión de Bosques en los municipios de Puerto Triunfo, San Luis y San Francisco con cambios mayores a 2 °C para finales del presente siglo, mientras que los cambios menores en temperatura se encuentran hacia los municipios de la subregión de Valles de san Nicolás
- El Municipio de Puerto Triunfo presenta el Índice de Peligro Climático más alto; esto se explica parcialmente por sus altos valores de exposición relativa a inundaciones y un valor alto de índice regional de cambio climático.
- Un Segundo resultado a considerar, está relacionado con el alto valor relativo del índice de peligro climático en la región de Valle de San Nicolás, seguido por las regiones de Páramos y Bosques. Para Valle de San Nicolás, el IRCC es el mayor de todo el Oriente Antioqueño, lo que implica un fortalecimiento de las acciones de conocimiento, monitoreo, pronóstico y alerta climática. Para las otras regiones (Páramos y Bosques), el IRCC es menor, y su clasificación de peligro está influenciada por la exposición a inundaciones e incendios forestales.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

- La incidencia de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el índice de peligro climático es homogénea para todos los municipios del Oriente Antioqueño; en éste sentido es importante fortalecer acciones encaminadas a identificar estudios detallados para establecer puntos críticos de riesgo asociado a éste tipo de fenómenos.



9.2 Condiciones de vulnerabilidad climática

Retomando los resultados de la sección 6 – Análisis de Vulnerabilidad Climática, tenemos:

- El Índice de Vulnerabilidad Social es predominantemente homogéneo, de categoría BAJA para todos los municipios del Oriente Antioqueño, con excepción de los municipios de Puerto Triunfo (MUY ALTA), Abejorral (ALTA) y San Francisco y San Rafael (MEDIA).
- El Índice de Vulnerabilidad Ambiental desarrollado a partir del análisis de motores de transformación de ecosistemas del Oriente Antioqueño, refleja que en los municipios al norte, se encuentran los ecosistemas sometidos a una mayor presión / transformación, y que por lo tanto tienen una mayor predisposición /propensión a ser afectados negativamente por un clima cambiante. Dentro de los municipios con un mayor índice de Vulnerabilidad Ambiental (MUY ALTO) están: La Unión, La Ceja, Rionegro, Santuario, Marinilla; Guarne, San Vicente y El Peñol y con nivel ALTO, Puerto Triunfo, Guatapé, San Rafael, Concepción, Santo Domingo y San Roque.
- Al considerar el Índice de Vulnerabilidad Económica/Sectorial, la región tiene un marcado distanciamiento entre el municipio de Rionegro, y los demás municipios del Oriente Antioqueño. En consecuencia, con excepción de Rionegro (BAJO), los demás municipios tienen un índice ALTO y MUY ALTO.
- El Índice integrado de Vulnerabilidad Climática (Social + Ambiental + Sectorial), indica unas condiciones generales de vulnerabilidad ALTA en la Región de PORCE NUS. Una mención especial es para el Municipio de Puerto Triunfo, el cual es el único con una condición de vulnerabilidad climática MUY ALTA. Otros municipios con una condición ALTA son Santuario, La Unión, Abejorral y San Rafael.

9.3 Condiciones de riesgo climático

Retomando los resultados de la sección 7 – Análisis de Riesgo Climático, tenemos:

- El Índice de riesgo Social es predominantemente homogéneo, de nivel BAJO para todos los municipios del Oriente Antioqueño, con excepción de los municipios de Puerto Triunfo (MUY ALTO) y Abejorral (ALTO)
- Las Mayores zonas de cambio en la clasificación climática de ecosistemas (Holdridge) se presentan en la subregión de Aguas, seguida por la del Valle de San Nicolás.
- Las zonas de cambio en el Balance Hídrico no se concentran en ninguna subregión específica del Oriente Antioqueño. Los valores de cambio más altos se encuentran en el municipio de Puerto Triunfo, seguido por Guarne. Algunas sub regiones, como AGUAS, presentan en promedio el menor cambio en el Balance Hídrico.

- El Índice de Riesgo Climático en Biodiversidad, indica que los municipios de la subregión del Valle de San Nicolás tienen una condición comparativamente más desfavorable que las demás regiones (ALTA).
- El Índice de Riesgo Climático Sectorial/ Económico, indica que todos los municipios del Sur del Oriente Antioqueño, tienen una condición de Riesgo Climático Sectorial MUY ALTO y ALTO. En términos de sub-regiones, el Valle de San Nicolás y Parámos presentan en promedio índices de riesgo más altos.
- El Índice Integrado de Riesgo Climático para el Oriente Antioqueño, resultado de la integración de los índices social, ambiental y sectorial, indican que existen municipios con valores MUY ALTO (Marinilla y Puerto Triunfo) y ALTO (Santuario, Guarne, La Ceja, Rionegro, San Vicente, Abejorral, y Sonsón).

10. Literatura citada

- Cabrera, E., G. Galindo & Vargas, D.M. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 44 p.
- CEPAL. 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010 - 2011. Bogotá: Misión BID - Cepal. Bogotá, Colombia. 240 p.
- Cornare. 2014. Plan de gestión ambiental regional 2014-2032. Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático, un pacto por la sostenibilidad del oriente Antioqueño. Santuario. 311 p.
- DANE 2005. Censo General 2005. <http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>
- DNP, Departamento Nacional de Planeación. 2013. Desempeño fiscal de los departamentos y municipios 2013. Bogotá D.C., Colombia
- Galindo G., Espejo O. J., Rubiano J. C., Vergara L. K., Cabrera E., 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia., 52 pág.
- Gallopín, Gilberto C. 2003. “Recuadro 1. Una síntesis sistémica de las relaciones entre vulnerabilidad, amenaza, exposición e impacto, dirigida a la identificación de políticas.” In Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres, Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento., 2–5. LC/MEX/G.S., Mexico, D.F.: CEPAL. <http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-04articulosPDF/Res%204-2006.pdf>.
- . 2006. “Linkages between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity.” Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change 16 (3): 293–303. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004.
- Giorgi, F. 2006. “Climate Change Hot-Spots.” Geophysical Research Letters 33 (8). doi:10.1029/2006GL025734.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

- Giorgi, F., and X. Bi. 2005. "Updated Regional Precipitation and Temperature Changes for the 21st Century from Ensembles of Recent AOGCM Simulations." *Geophysical Research Letters* 32 (21): L21715. doi:10.1029/2005GL024288.
- Hijmans, R.J, S.E Cameron, J.L Parra, P.G Jones, and A Jarvis. 2005. "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas." *International Journal of Climatology*, no. 25: 1965–78.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San Jose, Costa Rica.
- IDEAM, MADS, IGAC, IIAP, SINCHI, PNN, and WWF. 2012. "Capa Nacional de Cobertura de la Tierra (periodo 2005-2009): Metodología CORINE Land Cover
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá, Colombia - Marzo 2015.
- IDEAM 2015. Datos históricos de estaciones meteorológicas de la jurisdicción de Cornare.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2006. Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial. Disponible en <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn>.
- IPCC. 2001. "Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability." Intergovernmental Panel on Climate Change.
- . 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Christopher B. Field, Melinda Tignor, Thomas F. Stocker, Qin Dahe, D.J. Dokken, Kristie L. Ebi, Michael D. Mastrandrea, et al. New York: Cambridge University Press.
- . 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
- . 2014. Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.
- Mattson K & Angermeier P. 2007. Integrating Human Impacts and Ecological Integrity into a Risk-Based Protocol for Conservation Planning. *Environmental Management* 39: 125-138.
- MAVDT, IDEAM, PNUD y GEF. 2010. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá, Colombia: Editorial Scripto Ltda. 436 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2008) Estadísticas del Sector Agropecuario. Agosto 2008. <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn>
- Mulligan, M. and Burke, S.M. (2005) FIESTA: Fog Interception for the Enhancement of Streamflow in Tropical Areas, 174 pp.). <http://www.ambiotek.com/fiesta>
- Phillips J.F., Duque A.J., Yepes A.P., Cabrera K.R., García M.C., Navarrete D.A., Álvarez E., Cárdenas D. 2011. Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

- análíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.
- Ramirez-Villegas, J. y Jarvis, A. 2010. Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No 1.
- Riveros JC, Tadeu S, Suárez CF, Oliveira M, Secada L. 2009. Hydrological Information System & Amazon River Assessment – HIS/ARA. FY09 Final Report. Science & Monitoring Team. WWF Amazon Network Initiative. 30 p.
- Rosa, Eugene A. 1998. “Metatheoretical Foundations for Post-Normal Risk.” *Journal of Risk Research* 1 (1): 15–44.
- . 2003. “The Logical Structure of the Social Amplification of Risk Framework (SARF): Metatheoretical Foundations and Policy Implications.” In *The Social Amplification of Risk*, edited by Nick Pidgeon, Roger E. Kasperson, and Paul Slovic, 47–79. Cambridge University Press.
- Smit, B., and Wandel, J. 2006. “Adaptation, Adaptive Capacity and Vulnerability.” *Global Environmental Change* 16 (3): 282–92. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008.
- Tosi, J. (1997), An ecological model for the prediction of carbon offsets by terrestrial biota, Occasional Papers, No. 17, Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Turner, Billie L., Roger E. Kasperson, Pamela A. Matson, James J. McCarthy, Robert W. Corell, Lindsey Christensen, Noelle Eckley. 2003. “A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100 (14): 8074–79.
- UNGRED. 2015. Guía para la integración de la Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial Municipal. Santa Fé de Bogotá. 107 p.



11. Anexos

11.1 Anexo 1. Listado de abreviaciones

ABREVIACIÓN	SIGNIFICADO
AFOLU	Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo
BIORUM	Grupo de biotecnología ruminal y silvopastoreo
CEAM	Corporación de Estudios, Educación e Investigación Ambiental
CH₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles de Metano
DCC	Desarrollo Compatible con el clima
ECDBC	Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono
EPM	Empresas Públicas de Medellín
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
JAC	Juntas de Acción Comunal
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAI	Mesa de Articulación Interinstitucional
N₂O	Óxido Nitroso
NH₃	Amoniaco
Nox	Óxidos de Nitrógeno
ONG	Organizaciones no Gubernamentales
PAS	Planes de Acción Sectoriales
PCV	Plan de Crecimiento Verde
PER	Proceso Estratégico Territorial
PNACC	Plan Nacional de Adaptación a Cambio Climático
POMCAS	Plan de ordenación y manejo ambiental de cuenca hidrográfica
POT's	Planes de Ordenamiento Territorial
PPROCEDAS	Proyecto Ciudadano De Educación Ambiental
PRAES	Proyectos Educativos Escolares

11.2 Anexo 2. Definiciones y conceptos

Cambio climático: Dentro de los más recientes avances conceptuales a nivel internacional (IPCC-SREX 2012, IPCC AR5 2014), y a nivel nacional (Bases Conceptuales - Plan Nacional de Adaptación, LEY 1523 DE 2012 - Política nacional de gestión del riesgo de desastres), se trata de tener un enfoque integrado entre la descripción física del cambio climático, y sus múltiples causas asociadas. En este sentido, el presente documento adopta esa tendencia, bajo la siguiente definición:

“Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmosfera o del uso del suelo”. Esta definición no diferencia entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Variabilidad climática: La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa).

Mitigación: Aunque hay varias políticas sociales, económicas y tecnológicas que reducirían las emisiones, la mitigación referida al cambio climático es la aplicación de una intervención humana destinada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros. Para efectos de esta política, la mitigación incluye los esfuerzos asociados a las actividades REDD+.

Adaptación: Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En relación a dicho proceso de ajuste, en los sistemas humanos, éste puede responder al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste ocurre clima real y sus efectos. Sin embargo, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado.

Sensibilidad: De acuerdo con Gallopín (2006), la sensibilidad es una propiedad inherente del sistema separado de la capacidad de respuesta y que está presente previo a la exposición de una perturbación ya sea lenta o repentina. Este punto de vista va más allá de lo

conceptualizado por el IPCC (2001) donde la sensibilidad depende de la exposición dado por “el grado en el cual un sistema es afectado, en perjuicio o beneficio por un estímulo relacionado por el clima”. Esto implica conocer en cierta manera los impactos o afectaciones sobre el sistema de interés teniendo en cuenta la exposición a los cambios y variabilidad climática, que fácilmente puede confundirse con los resultados del análisis de vulnerabilidad. Por ello, en este ejercicio entendemos la sensibilidad como una propiedad o atributo del sistema y que puede ser determinado por las condiciones ambientales-humanas del sistema, tal como lo proponen Turner *et al.* (2003).

Capacidad de Adaptación: En castellano también denominada capacidad adaptativa, denominada por el IPCC (2001) como la “habilidad de los sistemas, instituciones, humanos y otros organismos, a ajustarse a los daños potenciales, tomar ventajas de las oportunidades o responder a las consecuencias” En este sentido, conceptualmente no hay mayores diferencias con otros autores (Smit & Wandel, 2006), o Turner *et al.* (2003). Sin embargo, éste último separa conceptualmente la capacidad de respuesta o de resistencia y la capacidad de adaptación, donde la segunda va más allá que la primera, resaltando que ésta puede llevar a una modificación de los atributos estructurales del sistema y requerirá de cambios en acomodación a condiciones cambiantes. Comúnmente para este componente, en los análisis de vulnerabilidad, se ha utilizado indicadores sociales, institucionales, organizacionales asumiendo que a mejores indicadores se tendrá mejores condiciones de adaptación.

La presente propuesta sigue los lineamientos de Gallopín (2003; 2006) que conceptualiza sobre la capacidad de respuesta como un componente inherente de los sistemas en cuanto a su vulnerabilidad a una perturbación externa, relacionando así atributos de resiliencia que explicaremos más adelante acorde con el AR5 del IPCC (2014).

Resiliencia: Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Perturbación, estrés, amenazas o alteración: En esta propuesta la perturbación está dada por los procesos climáticos que interactúan con el sistema amazónico y que potencialmente inducen a cambios e impactos en el sistema ya sean lentos o sorpresivos, también denominados amenazas por Turner *et al.* (2003). De acuerdo con Gallopín (2006), una perturbación es el pico o punto más alto de una presión más allá del rango normal de variabilidad que el sistema posee. En este sentido, durante el taller mencionado líneas atrás, se propusieron varios indicadores relacionados con el clima que vale la pena revisar: el primero relacionado con los cambios en el clima y su proyección futura, y los segundos en relación a variabilidad climática.

Exposición: La exposición comúnmente es incluida en los marcos conceptuales del análisis de vulnerabilidad (IPCC 2001) y es definida en el AR5 como “la presencia de gente, medios de vida, especies o ecosistemas, servicios ambientales y recursos, infraestructura, o activos económicos, sociales, o culturales en lugares que podrían ser afectados adversamente”, tomando en cuenta que en esta propuesta adoptamos que la vulnerabilidad es un atributo existente previo a un disturbio, y que está relacionada con la historia de los disturbios a los cuales el sistema fue expuesto en el pasado (Gallopín 2006). En este sentido, vemos la exposición definida en el AR5 como la relación entre las condiciones del sistema analizado y la perturbación, amenaza o fuente de alteración.

Riesgo Climático: El AR5 IPCC (2014) define riesgo adaptando las definiciones de Rosa (1998; Rosa 2003), como las consecuencias potenciales cuando aspectos relacionados con el valor humano están en juego y donde los resultados son inciertos. En este sentido, el riesgo frecuentemente es representado como la probabilidad de ocurrencia de amenazas/eventos extremos o las tendencias multiplicadoras de sus consecuencias, si estos eventos llegaran a ocurrir. Concepto en la misma línea del informe especial del IPCC (2012) sobre el manejo de riesgos de eventos extremos y desastres para avanzar en la adaptación al cambio climático (SREX, sigla en inglés), en donde definen el riesgo de desastres como “la probabilidad en un periodo de tiempo específico de sufrir alteraciones graves en el funcionamiento normal de una comunidad o sociedad, debido a eventos físicos peligrosos que interactúan con las condiciones sociales vulnerables, lo que conlleva a efectos adversos, en aspectos humanos, materiales, económicos o ambientales, solicitando una respuesta inmediata de emergencia para satisfacer las necesidades humanas críticas y que puede requerir de un apoyo externo para su recuperación”.

En este sentido, tomando en cuenta el marco de trabajo de riesgo climático aquí analizado, se representa como la combinación de eventos climáticos potencialmente peligrosos y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

11.3 Anexo 3. Información climática disponible

El Oriente Antioqueño, cuenta con 23 estaciones con información relacionada a la precipitación (precipitaciones totales mensuales) y 10 estaciones con información asociada a la temperatura. El conjunto de estaciones tomadas en cuenta para el análisis posee datos para los años comprendidos entre 1985 y 2014. Inicialmente se realizó un análisis descriptivo para obtener los regímenes climáticos intranuales e interanuales. Para obtener la climatología multianual de la precipitación y temperatura fue necesario primero completar las series de tiempo mediante métodos ARIMA. Posteriormente se obtuvo el promedio de la serie de tiempo de cada variable en cada estación y estos valores fueron interpolados. El método de interpolación usado fue el de Distancia Inversa Ponderada (IDW, por su nombre en inglés). Este método estima los valores de una celda o punto dado al promediar los valores de los datos que se encuentran cerca de la celda procesada. Entre más cerca este un punto del valor que se está estimado, tendrá mayor influencia o peso en el proceso de ponderación. Finalmente, para cada variable se realizó una salida en formato Raster a una resolución espacial de 30 segundos de arco (aprox. 1 km).

Tabla 12. Estaciones climatológicas de IDEAM localizadas dentro del área de estudio

Código estación	Nombre Estación	Corriente	Latitud	Longitud	Municipio
23050100	San Miguel	La Miel	5.730833	-74.726111	Sonson
23080390	Sto Domingo	Qda San Pedro	6.468306	-75.163806	Santo domingo
23080640	Marinilla	Negro	6.171083	-75.328000	Marinilla
23080650	Campoalegre	Qda Cimarrona	6.073778	-75.335611	El carmen de viboral
23080740	Concepcion	Qda San Pedro	6.396944	-75.259167	Concepcion
23080750	Cocorna	Cocorna	6.053333	-75.182611	Cocorna
23080760	San Roque	Qda Guacas	6.487500	-75.017000	San roque
23080810	Jordan El	San Carlos	6.249500	-74.828111	San carlos
23085040	Selva La	Negro	6.131667	-75.414722	Rionegro
23085080	Nus Gja Exp El	Nus	6.485833	-74.836667	San roque
23085110	Penol El	Rionegro	6.214250	-75.241333	Peñol
23085140	San Francisco	Calderas	5.963667	-75.100778	San francisco
23085160	Corrientes	Rionegro	6.311889	-75.253528	San vicente
23085210	Violetas Las	Qda Jaguas	6.348889	-75.002778	San rafael
23085220	San Carlos	Samana Norte	6.157667	-75.038917	San carlos
23090020	Virginias	Qda Humareda	6.393556	-74.681806	Puerto berrio
23090110	Murillo	Magdalena	6.603056	-74.395278	Puerto berrio
23095010	Apto Pto Berrio	Magdalena	6.465000	-74.412222	Puerto berrio
26180160	Abejorral	Buey	5.785972	-75.430417	Abejorral
26180170	Union La	Piedras	5.998333	-75.381389	La union
26180180	Sonson	Sonson	5.715250	-75.294500	Sonson
26185020	Mesopotamia	Buey	5.886361	-75.318639	La union
27015190	Guayabito	Rosario	6.540833	-75.146944	Santo domingo
23085030	Alejandria	Nare	6.376278	-75.143389	Alejandria
23085040	Selva La	Negro	6.131667	-75.414722	Rionegro
23085080	Nus Gja Exp El	Nus	6.485833	-74.836667	San Roque
23085110	Penol El	Rionegro	6.214250	-75.241333	Peñol
23085140	San Francisco	Calderas	5.963667	-75.100778	San Francisco
23085210	Violetas Las	Qda Jaguas	6.348889	-75.002778	San Rafael
23085220	San Carlos	Samana Norte	6.157667	-75.038917	San Carlos
23095010	Apto Pto Berrio	Magdalena	6.465000	-74.412222	Puerto Berrio
26185020	Mesopotamia	Buey	5.886361	-75.318639	La Union

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

27015190	Guayabito	Rosario	6.540833	-75.146944	Santo Domingo
----------	-----------	---------	----------	------------	---------------



11.4 Anexo 4. Cálculo del índice regional de cambio climático

De acuerdo con el IPCC (2013) los modelos climáticos reproducen patrones y tendencias de la temperatura en superficie a escala continental observados a lo largo de muchos decenios, en particular el calentamiento más rápido producido desde mediados del siglo XX. Estos modelos han sido diseñados para proyectar los cambios en el sistema climático, los cuales pueden variar desde modelos sencillos hasta modelos complejos del sistema tierra. Para el último informe mundial de cambio climático estos modelos se basan en un conjunto de escenarios que buscan representar las trayectorias de las concentraciones en la atmósfera (RCP por su nombre en inglés).

Teniendo en cuenta que el escenario RCP6.0 que representa las concentraciones atmosféricas de CO₂, como resultado de un mayor aumento de las emisiones de CO₂ acumuladas en la atmósfera durante el siglo XXI, se tomará como base para la descripción de las variables climáticas esperadas en el paisaje del oriente antioqueño empleando los modelos re-escalados por CIAT (Ramirez-Villegas y Jarvis 2010), usando el promedio de todos los modelos avalados por el IPCC según la siguiente ecuación:

$$Vc = \frac{\sum_i^n GCMs}{n}$$

Donde:

Vc es la variable climática.

GCMs son cada uno de los modelos de circulación global disponibles para el análisis.

n es el número total de modelos de circulación global tenidos en cuenta (Tabla 6).

Como una medida de certeza en la predicción de los modelos de circulación global, usamos la desviación estándar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Donde:

σ es la desviación estándar

X_i es cada uno de los modelos de circulación global GCMs

\bar{X} es el promedio de todos los modelos de circulación global GCMs

Por otro lado el índice regional de cambio climático (en adelante RCCI, por sus siglas en inglés), fue propuesto por Giorgi & Bi (2005) y posteriormente aplicado por Giorgi (2006) a nivel global resaltando la temporada seca y húmeda, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$RCCI = [n(\Delta P) + n(\Delta \sigma p) + n(RWAF) + n(\Delta \sigma t)]_{ws} + [n(\Delta P) + n(\Delta \sigma p) + n(RWAF) + n(\Delta \sigma t)]_{ds}$$

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Donde:

ΔP es el cambio en la precipitación regional dado en % con respecto a la normal climática actual.

$\Delta \sigma p$ es el cambio en la variabilidad interanual de la precipitación dado en % con respecto a la variabilidad interanual de la precipitación de la normal climática actual.

$RWAF$ es el factor de amplificación del calentamiento regional y está dado por el cambio en la temperatura media en relación al cambio en la temperatura promedio global, que de acuerdo con el IPCC (2013) para el periodo 2046-2065 para el escenario RCP2,6 es de 1.0, para el RCP4,5 de 1.4, para RCP6,0 de 1.3 y para RCP8,5 de 2.0.

$\Delta \sigma t$ es el cambio en la variabilidad interanual de la temperatura en porcentaje (%) con respecto a la variabilidad de la temperatura de la normal climática actual.

n es un valor entero que varía de 0 a 4, dependiendo de la variación de los factores anteriores de acuerdo a la Tabla 13

Tabla 13. Cálculo del factor n del índice regional de cambio climático

n	ΔP	$\Delta \sigma p$	$RWAF$	$\Delta \sigma t$
0	< 5	< 5	< 1.1	< 5
1	5 – 10	5 – 10	1.1 – 1.3	5 – 10
2	10 – 15	10 – 20	1.3 – 1.5	10 – 15
4	> 15	> 20	> 1.5	> 15

De esta manera se calculó el índice regional de cambio climático para las cuatro trayectorias de emisiones definidas en el AR5 por el IPCC (2013), para 19 modelos de circulación global (Figura 41); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

), usando los datos de CIAT a una grilla de 30 segundos de arco.

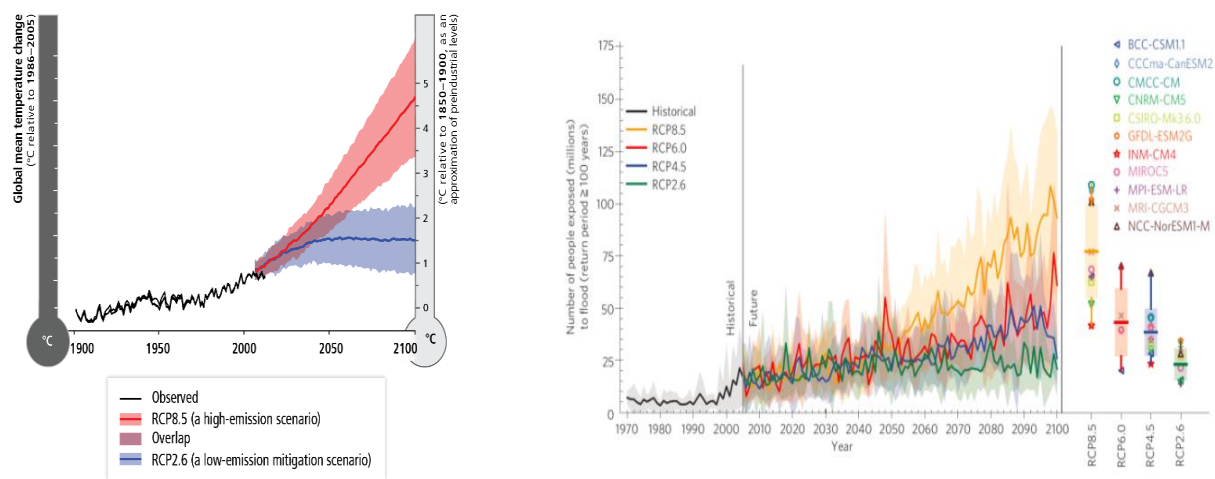


Figura 42. Escenarios ar5 modelos globales de circulación e incremento de temperatura

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Tabla 14. Modelos globales de circulación tomados en cuenta

GCM	Código	RCP60
BCC_CSM1	BCC	
BCC-CSM1-M	BC	X
CESM1_CAM5	CES	X
CSIRO_MK3	CSI	
FIO_ESM	FIO	
GFDL-CM3	GFD	
GFDL-ESM2G	GD	X
GFDL_ESM2M	GDL	
GISS-E2-H	GIS	
GISS-E2-R	GS	X
IPSL_CM5A	IPS	X
MIROC_ESM	MIR	
MIROC_ESM_CHEM	MIO	X
MIROC_MIROC5	MIR	
MOHC_HADGEM2_ES	MOH	X
MRI_CGCM3	MRG	X
NCAR_CCSM4	NCA	X
NCC_NORESM1	NCC	X
NIMR_HADGEM2	NIM	
Promedio de los modelos	AV	X

11.5 Anexo 5. Cálculo del índice de vulnerabilidad ambiental

En primera instancia se identificaron posibles efectos antrópicos transformadores de paisajes naturales (impulsores), y las unidades de análisis más adecuadas. Posteriormente, se procedió a clasificar la información geográfica entregada por CORNARE y otras instituciones como el IDEAM para su utilización en los análisis espaciales. Se escogieron como unidades de análisis las divisiones hidrográficas de segundo orden (subcuencas), cuyos límites fueron provistos por CORNARE.

A partir de las capas seleccionadas, se procedió a determinar los puntajes de frecuencia (Tabla 15; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y severidad (Tabla 16) para cada uno de los impulsores, basados en el estudio realizado por Riveros y colaboradores (2009), los cuales fueron integrados a las unidades de análisis. Finalmente, se calculó el ERI para cada una de las unidades de análisis utilizando la ecuación mostrada en la Figura 43.

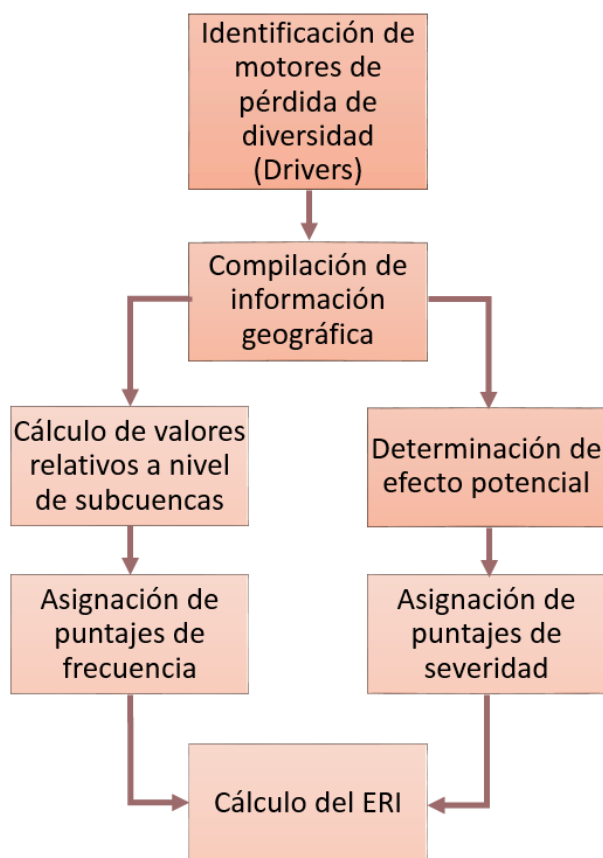


Figura 44. Procedimiento para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI)

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

$$ERI = \sum_{i=1}^j S(F)$$

Ecuación utilizada para el cálculo del ERI, donde F equivale al puntaje de frecuencia y S al puntaje de severidad para cada uno de los drivers.

Tabla 15. Puntajes de frecuencia utilizados para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI)

Driver	Variable	Unidad	Fuente	Valores de entrada		Rangos para puntajes			
				Mínimo	Máximo	0	1	2	3
Construcciones	Área construida	%	CORNARE	0.00	17.80	0	<5	5-10	>10
Agricultura	Área cultivada	%	CORINE Landcover	0.15	95.97	0	<30	30-70	>70
Deforestación	Cobertura no forestal	%	IDEAM (Cabrera et al., 2011)	0.31	99.92	0	<30	30-70	>70
Ganadería	Área de pastos	%	CORINE Landcover	0.54	95.96	0	<30	30-70	>70
Hidrocarburos	Área de titulación	%	CORNARE	21.85	99.60	0	<30	30-70	>70
Líneas de alta tensión	Densidad	m/km ²	CORNARE	0.000002	0.0006	0	<0.00001	0.00001-0.0001	>0.0001
Minería	Área de titulación	%	CORNARE	0.00	100.00	0	<30	30-60	>60
Vías	Densidad vial	m/km ²	CORNARE	0.000009	0.007	0	<0.0001	0.0001-0.001	>0.001

Tabla 16. Puntajes de severidad utilizados para el cálculo del Índice de Riesgo Ecológico (ERI)

Driver	Impacto		Calidad de agua	Calidad de hábitat	Interacciones bióticas	Régimen hidrológico	Índice de severidad
Construcciones	Bajo	1	1			1	6
	Medio	2		2	2		
	Alto	3					
Agricultura	Bajo	1					9
	Medio	2	2	2		2	
	Alto	3			3		
Deforestación	Bajo	1					9
	Medio	2	2	2		2	
	Alto	3			3		
Ganadería	Bajo	1					9
	Medio	2	2	2		2	
	Alto	3			3		
Hidrocarburos	Bajo	1		1		1	8
	Medio	2					
	Alto	3	3		3		
Líneas de alta tensión	Bajo	1	1			1	6
	Medio	2		2	2		
	Alto	3					
Minería	Bajo	1			2		11
	Medio	2					
	Alto	3	3	3		3	
Vías	Bajo	1	1			1	6
	Medio	2		2	2		
	Alto	3					

En la Figura 45 se muestra la distribución geográfica de los diferentes drivers de transformación del paisaje según su puntaje de frecuencia relativo, mientras que en la Figura 46;

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

el origen de la referencia. se muestran los puntajes del índice de riesgo ecológico integrado. Se observa que la deforestación, la ganadería y la agricultura son los factores que más contribuyen al riesgo ecológico².

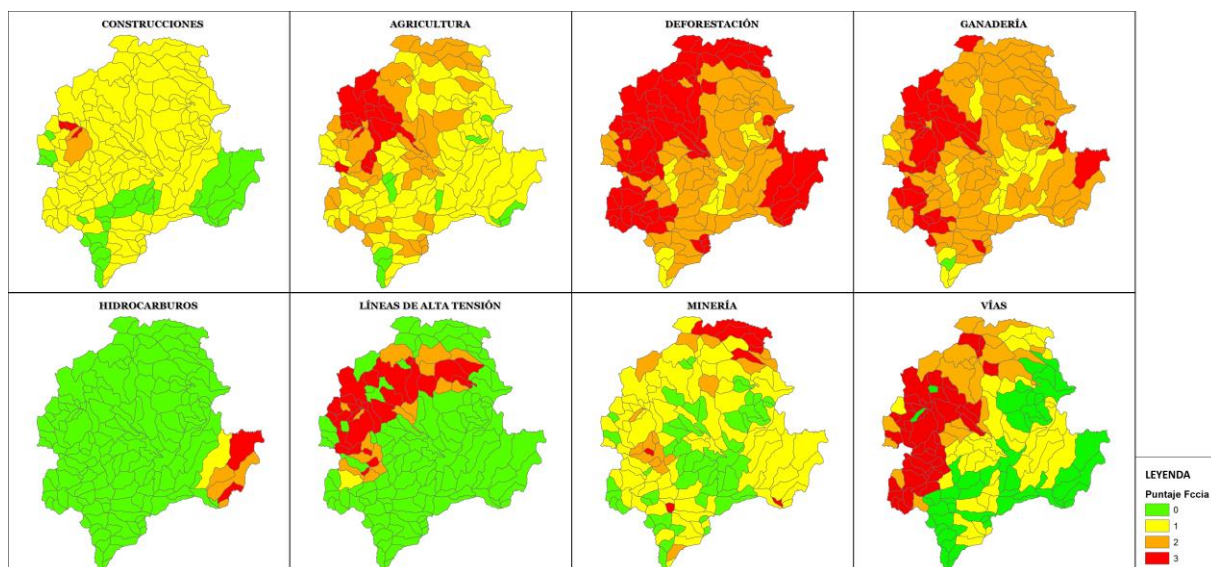


Figura 47. Distribución geográfica de los puntajes de frecuencia de los drivers de pérdida de diversidad a nivel de unidad de análisis.

² Se detectaron algunos vacíos de información en la información geográfica provista por CORNARE, más específicamente en las capas de construcciones y vías. Es importante actualizar dicha información para mejorar la precisión del modelo.

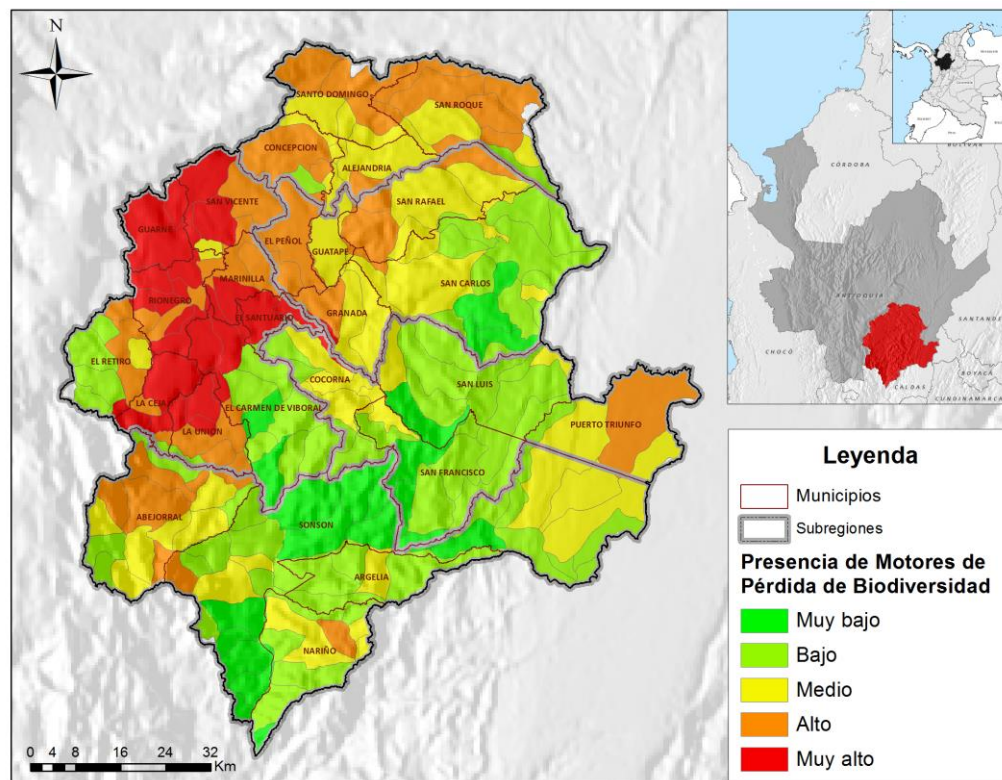


Figura 48. Índice de riesgo ecológico (ERI) a nivel de las subcuencas presentes en la jurisdicción de Cornare.

11.5.1 Usos del suelo y patrones de cambio

Con el objetivo de conocer y definir estrategias en torno la capacidad de adaptación del paisaje del Oriente Antioqueño, fueron realizados análisis en torno a los usos del suelo, sus patrones de cambio, tendencias y coberturas existentes en las áreas de cambio. Esta información permitirá comprender las dinámicas y características de transformación, así como la orientación de medidas en el marco del desarrollo compatible con el clima y el crecimiento verde. A continuación se describen los análisis realizados.

11.5.1.1 Usos del suelo

Colombia adoptó la metodología Corine Land Cover para la descripción y cartografía de las coberturas de la tierra. Bajo este marco metodológico se caracterizaron las principales coberturas en el Oriente Antioqueño a escala 1:100,000 (Figura 49).

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

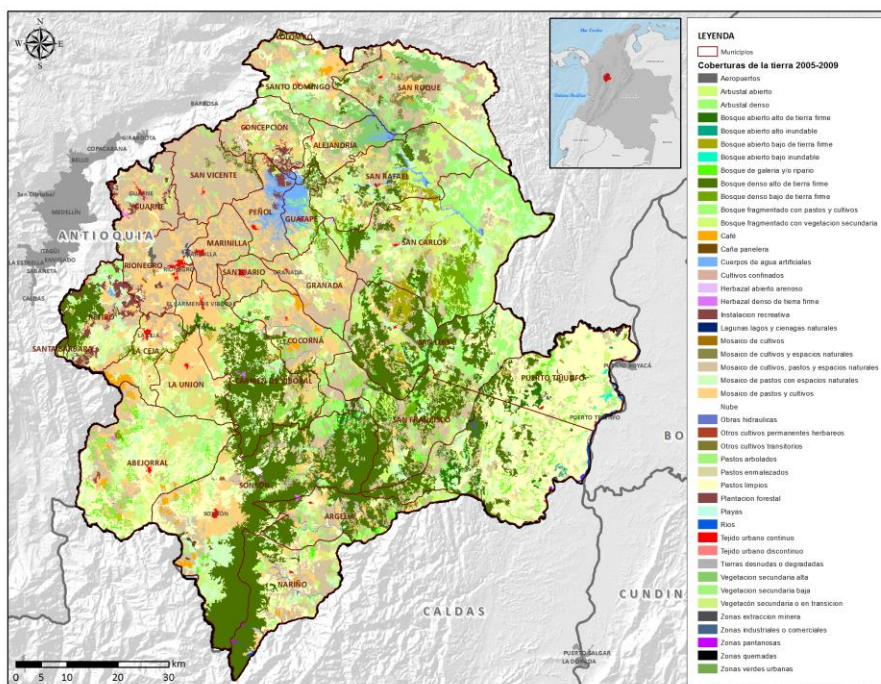


Figura 50. Coberturas de la tierra 2005-2009. Fuente: IDEAM et al., 2012

De acuerdo con IDEAM y colaboradores (2012), éste sector de Antioquia se caracteriza por tener una cobertura de bosque denso alto de tierra firme cercano al 58.6%, presentes hacia las zonas de ladera de la cordillera de los andes y un mosaico de coberturas hacia las zonas planas principalmente conformado por pastos limpios (13.9%), pastos con espacios naturales (11.9%) y vegetación secundaria o en transición (7%). Las zona de cultivos es pequeña restringiéndose a cultivos de pan coger y unas cuantas iniciativas de caucho, palma y cacao. La principal actividad económica es la ganadería reflejándose en cerca de 100,000 ha de pastos limpios.

11.5.1.2 Patrones de cambio y tendencias

Para este análisis a nivel del paisaje del oriente antioqueño se tuvieron como base los mapas de bosque y no bosque a escala 1:100,000 de los años de referencia 1990, 2000, 2010, y 2013 los cuales fueron cruzados, obteniendo un mapa combinado en donde se identifican geográficamente los cambios ocurridos, permitiendo estimar las pérdidas y ganancias de las áreas boscosas y así obtener un panorama claro que permita determinar las posibles causas y tendencias de estos procesos (Figura 51). En análisis de cambios se siguieron las recomendaciones expuestas por Cabrera y colaboradores (2011), para determinar unidades homologadas a las propuestas por el IPCC para los requerimientos de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático -CMNUCC-, y otras iniciativas de reporte de cifras forestales.

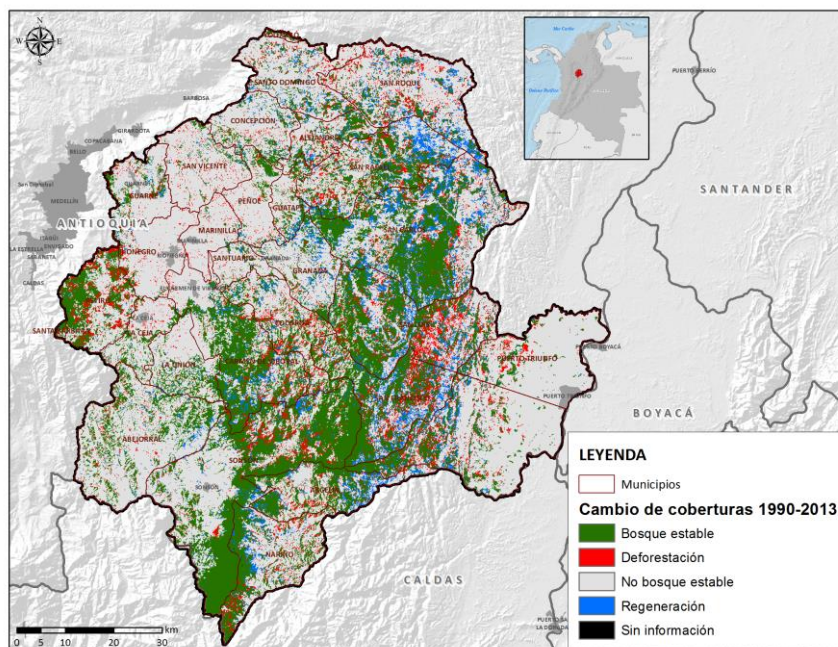
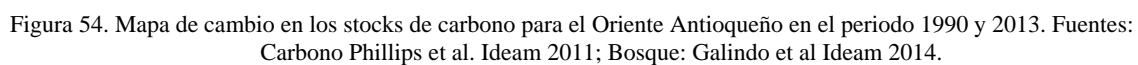


Figura 52. Mapas de cambio de bosques periodo 1990-2013. Fuente: Galindo et al IDEAM 2014.

11.5.2 Secuestro y almacenamiento de carbono

Además de proveer del recurso hídrico a la región del Oriente Antioqueño, los ecosistemas presentes a su vez, contribuyen con la captura de carbono, aportando a la mitigación de gases de efecto invernadero a diferentes niveles. Sin embargo, la pérdida de bosques debido al avance de las fronteras agrícolas, pecuarias y demás productivas, acelera la pérdida de la capacidad de captura de carbono ligada a la deforestación. Con base en el mapa de carbono a nivel nacional producido por IDEAM, es posible evidenciar que la región del oriente antioqueño presenta una pérdida en los stocks de carbono de 1'211,404 de Ton C/ha para el periodo comprendido entre los años 1990 y 2013 (Figura 53). Esta pérdida de los stocks está asociada a las tasas de deforestación de acuerdo a los mapas de bosque y no bosque (Galindo *et al.* IDEAM 2014) generados en el marco del sistema de monitoreo de bosques a nivel nacional realizado por IDEAM. Teniendo en cuenta esta pérdida de bosques y la disminución de los stocks de carbono es necesario analizar la relación captura - deforestación en el contexto de las expectativas y estrategias para promover el desarrollo compatible con el clima y el crecimiento verde de la región.

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática



Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

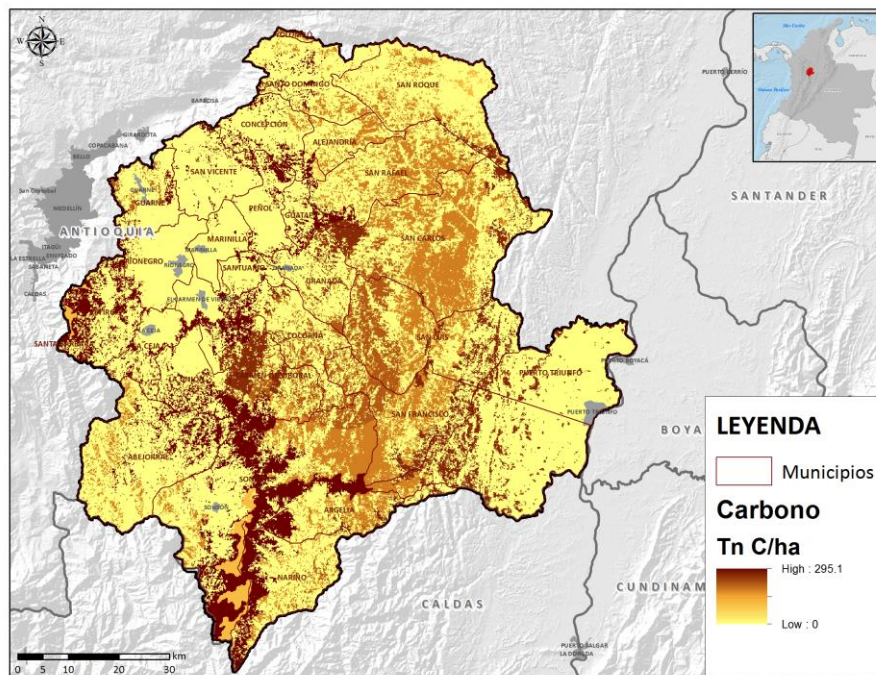


Figura 56. Contenido de carbono 2013. Fuentes: carbono phillips et al. Ideam 2011. Bosque: galindo et al. Ideam 2014.

11.6 Anexo 6. Análisis cambio en la clasificación de zonas de vida de holdridge por cambio climático

Para los análisis realizados se tomó como punto de partida la aproximación de Holdridge (1967), según la cual, ciertos grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales corresponden a rangos de temperatura, precipitación y humedad de tal forma que pueden definirse divisiones balanceadas de estos parámetros climáticos para agruparlas (Figura 57), en una clasificación climática. A estos conjuntos de asociaciones, Holdridge (1967), los denominó zonas de vida. Al mismo tiempo, las zonas de vida comprenden divisiones igualmente balanceadas de los tres factores climáticos principales, es decir, calor, precipitación y humedad. Las zonas de vida de Holdridge son un modelo de áreas potenciales ya que no se tienen en cuenta las áreas intervenidas ni actuales, ni proyectadas, ni cómo estas áreas potenciales pueden variar con los diferentes escenarios de cambio climático.

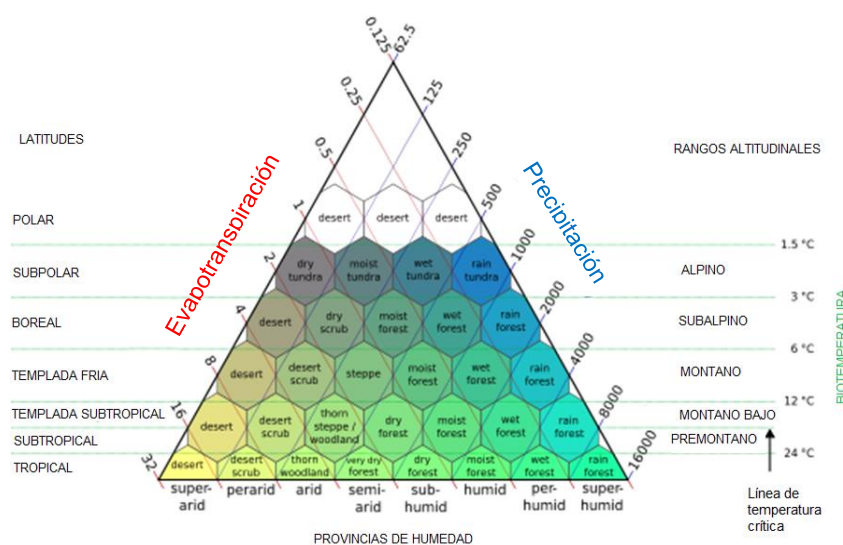


Figura 58. Sistema de clasificación de Holdridge

El Sistema de Zonas de Vida se basa en la expresión del factor calor por medio de la bio-temperatura, el uso de una progresión logarítmica en los incrementos del calor y la precipitación para obtener cambios significativos en las unidades de vegetación natural, la determinación de la relación directa entre la bio-temperatura y la evapotranspiración potencial (humedad), la relación entre la humedad y la evapotranspiración real (Holdridge 1967) y la relación directa entre la evapotranspiración real y la productividad biológica (Tosi 1997). Teniendo en cuenta lo anterior, y con el objetivo de observar el cambio en la clasificación climática de los ecosistemas, se utilizaron las coberturas de temperatura y precipitación de CIAT (Ramírez-Villegas y Jarvis 2010) para lograr la modelación de las zonas de vida de Holdridge para el periodo actual y para los periodos 2040-2060. Al observar las figuras 45 y 46, se observa un desplazamiento y la reducción hipotética del área ocupada por los ecosistemas del Bosque Muy Húmedo Montano y el Bosque Muy Húmedo Montano Bajo. Por otra parte se observa el desplazamiento del Bosque Muy Húmedo Premontano hacia la zona noroeste de la región, entre otros cambios esperados.

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

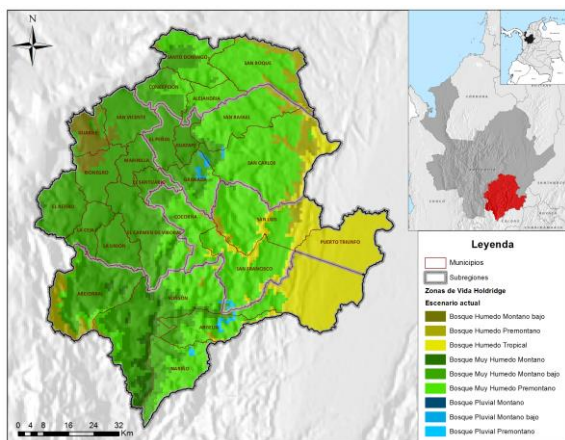


Figura 59. Zonas de vida de Holdridge en el Oriente Antioqueño para el escenario actual.

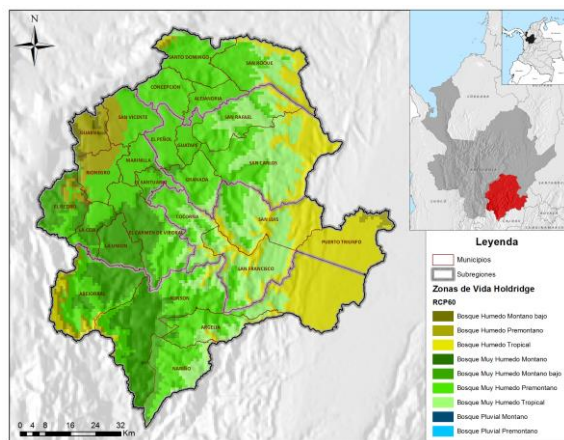


Figura 60. Zonas de vida de Holdridge en el Oriente Antioqueño para el escenario futuro.

Los resultados demuestran importantes cambios en la clasificación de los ecosistemas, siendo pocas las áreas que se mantendrán estables (Figura 61). Este posible panorama podrá traer consigo importantes repercusiones en el Oriente Antioqueño, no sólo para los ecosistemas presentes, sino para las dinámicas que dependen de estos como la vida de las comunidades humanas y las actividades económicas. A pesar de los amplios niveles de incertidumbre que aún existen en relación a los impactos que estas predicciones puedan ocasionar en los sistemas biológicos y las especies de la región, es necesaria la toma de medidas que al menos aumenten la resiliencia de los ecosistemas para soportarlos. Promover la conectividad y la integración de diversas estrategias de conservación en el paisaje de la región es una de estas estrategias.

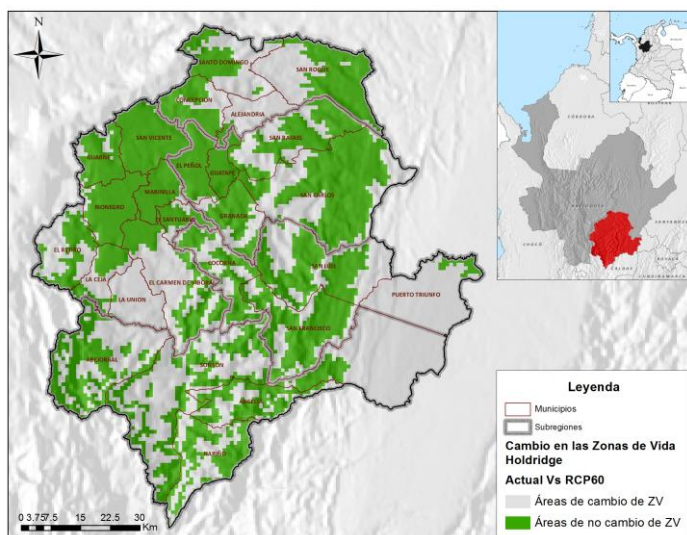


Figura 62. Áreas de cambio en las zonas de vida de Holdridge

11.7 Anexo 7. Áreas protegidas del oriente antioqueño

En el oriente antioqueño se encuentran áreas protegidas de orden Local, Nacional, Regional y áreas propuestas aun no designadas (Figura 63 y Tabla 17). Las áreas de orden local ocupan 24,593.9 ha (6.2 % del total de las áreas protegidas de la Jurisdicción de Cornare), las de orden Nacional 225,826.6 ha (57.11 %) y las áreas de orden Regional 8,066 ha (2.04 %). En cuanto a las áreas propuestas, ocupan 34.63 % del área de jurisdicción de Cornare, correspondiente a 136,924.3 ha.

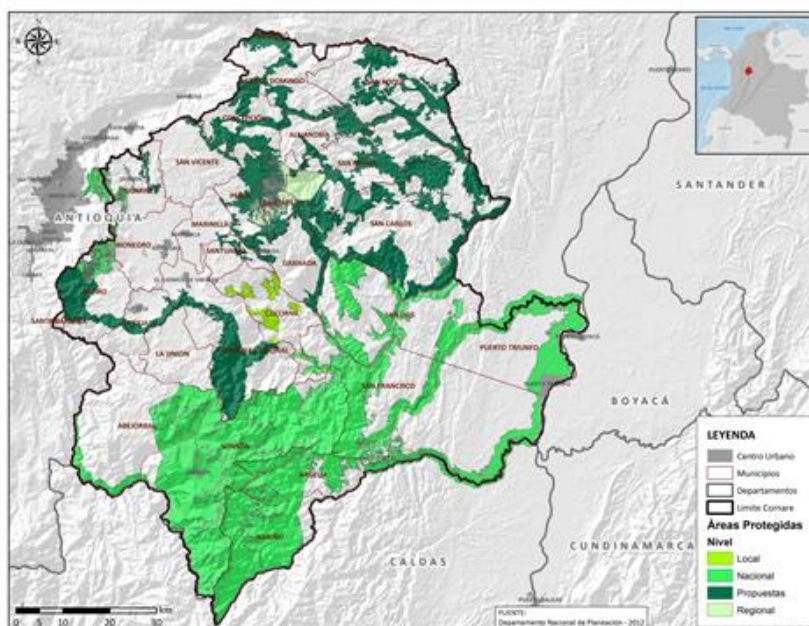


Figura 64. Áreas protegidas de la Jurisdicción de Cornare.

Tabla 17. Áreas protegidas de orden Local, Nacional, Propuestas y Regionales de la Jurisdicción de Cornare.

Nombre	Nivel	Sirap	Zonifica	Acto_Admvo	Area (ha)	Area (%)
Cañones	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP Cocorná		Acuerdo 010 de 2010	990.708	0.251
Cañones	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	6709.002	1.697
Cañón Río Claro	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	1403.448	0.355
Forestal protectora	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP Cocorná		Acuerdo 010 de 2010	3397.692	0.859
La Tebaida	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	6053.418	1.531
Reserva forestal privada omya colombia s.a.	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	582.820	0.147
Reserva natural municipal monte negro	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	2146.194	0.543
Reserva el Viao	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP Cocorná		Acuerdo 010 de 2010	986.542	0.249
Unida marmoles y calizas	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	2098.708	0.531
Vereda las confusas y la independencia	Local	Sirap Páramo Húmedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	190.285	0.048

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Veredas las confusasa y la independencia	Local	Sirap Páramo Humedales - SILAP San Luis		Acuerdo 08 de 2010	35.095	0.009
Páramo de Sonsón	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales		Ley 2da de 1959	8.749	0.002
Páramo de Sonsón	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Amortiguación	Ley 2da de 1959	9989.7 84	2.526
Páramo de Sonsón	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Aprovechamiento múltiple	Ley 2da de 1959	56079. 581	14.183
Páramo de Sonsón	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible de recuperación	Ley 2da de 1959	46937. 862	11.871
Páramo de Sonsón	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	2179.8 03	0.551
Alto de Guayaquil	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	53.520	0.014
Alto del cóndor	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	579.75 9	0.147
Bosque seco	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			3596.1 44	0.909
Cañones	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			17935. 674	4.536
Cerro Las Palomas	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	578.81 5	0.146
Cerro de La Vieja	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	93.859	0.024
Ciénagas	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			17293. 558	4.374
Corredores	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			21071. 549	5.329
Cuchilla El Tigre La Osa	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			28340. 857	7.167
La Tebaida	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			6054.7 14	1.531
Perrillo	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	1059.5 26	0.268
Reserva forestal privada omya colombia s.a.	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			582.78 9	0.147
Reserva natural municipal monte negro	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			2179.5 57	0.551
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Embalse	Resolución 1510 de 2010	141.91 5	0.036
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Embalse Piedras Blancas	Resolución 1510 de 2010	14.358	0.004
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Laguna de Guarne	Resolución 1510 de 2010	1.844	0.000
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Preservacion	Resolución 1510 de 2010	1382.4 71	0.350
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Restauracion	Resolución 1510 de 2010	2491.3 21	0.630
RFP Nare	Nacio nal	Sirap Valles de San Nicolas - RFP Nare	Uso Sostenible	Resolución 1510 de 2010	4785.2 89	1.210
Serranía El Guayabo	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales	Intangible primitiva	Ley 2da de 1959	69.380	0.018
Unida Marmoles Y Calizas	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			2098.5 96	0.531
Vereda Las Confusas Y La Independencia	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			190.27 5	0.048
Veredas Las Confusasa Y La Independencia	Nacio nal	Sirap Páramo Humedales			35.093	0.009
Amplicación Dmi Peñol-Guatapé	Propu estas	Sirap Embalses		Sin Reglamentar	18718. 159	4.734
Asociada A Bosques, Mun: Peñol, Guatapé Y Granada	Propu estas	Sirap Embalses		Sin Reglamentar	4517.4 22	1.142

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

Asociada Al Río San Miguel	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	7200.095	1.821
Asociada Al Río Socorro Y Parte Del Nus	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	4770.810	1.207
Asociado A Los Ríos Calderas Corcoraná	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	5309.978	1.343
Asociado A Los Ríos Concepción Y Nare	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	3409.302	0.862
Bosque Alejandría-San Rafael-San Carlos	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	7681.330	1.943
Bosque Concepción	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	4618.939	1.168
Bosque Norte De Santo Domingo	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	2827.647	0.715
Bosque Santo Domingo - Concepción	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	5933.458	1.501
Bosque Denso San Carlos-San Rafael	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	6356.241	1.608
Bosques De San Roque	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	6649.768	1.682
Cañón Del Río Nare	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	7961.579	2.013
Corredores Valles De San Nicolás	Propuestas	Sirap Valles de San Nicolás - Nodos Corredores	Acuerdo 250 de 2011	30132.691	7.621
Nodo San Rafael-San Carlos	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	3791.145	0.959
Rfp-Corpoica - La Montaña	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	362.268	0.092
Rfp-Epm - Embalse Playas	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	3815.215	0.965
Rfp-Isagen - Embalse Punchiná	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	2804.575	0.709
Rfp-Isagen - Embalse San Lorenzo	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	4959.876	1.254
RNSC-Pato De Los Torrentes - "Cascada Matasanos"	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	92.578	0.023
Samaná Norte 1	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	1155.025	0.292
Samaná Norte 2	Propuestas	Sirap Embalses	Sin Reglamentar	3856.223	0.975
Agropecuario	Regional	Sirap Valles de San Nicolás - DMI La Selva	Acuerdo 192 de 2007	63.812	0.016
DMI-Peñol Guatapé	Regional	Sirap Embalses - DMI Peñol - Guatapé	Resolución 093 de 1985	8002.149	2.024
Total				395410.840	100

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

11.8 Anexo 8. Datos originales y cálculos de índices

DATOS ORIGINALES																				
Peligro				Vulnerabilidad						Riesgo										
NOM_MPIO	SUBREGION	COD_MPIO	COD_SUBR	Area_Ha	N_Quemas	RCCI	% INUNDACION	SUSCEPTIBILIDAD DESLIZAMIENTOS	QUEMAS	AfectHumana	AfectInfra	ERI	Peso PIB	desempeño fiscal	Poblacion 2015	Area agricola cosechada	Unidades Economicas Comerciales	Unidades Economicas de Servicios	P_HOLDRIDGE	P_AGUA
EL CARMEN DE VIBORAL	VALLES DE SAN NICOLAS	5148	5	42994.8	4.0	0.2	13.7	3.6	0.0	3751.8	887.7	83.7	0.4	77.7	42994.8	4.0	0.2	13.7	3.6	0.0
EL RETIRO	VALLES DE SAN NICOLAS	5607	5	24283.5	21.0	0.3	13.9	3.8	0.1	2030.6	1758.4	88.5	0.3	84.7	24283.5	21.0	0.3	13.9	3.8	0.1
EL SANTUARIO	VALLES DE SAN NICOLAS	5697	5	7925.9	1.0	0.2	15.8	3.0	0.0	5011.1	774.3	128.0	0.4	74.9	7925.9	1.0	0.2	15.8	3.0	0.0
GUARNE	VALLES DE SAN NICOLAS	5318	5	15419.5	4.0	0.2	13.9	3.0	0.0	5956.4	18.8	132.8	0.6	82.4	15419.5	4.0	0.2	13.9	3.0	0.0
LA CEJA	VALLES DE SAN NICOLAS	5376	5	13224.3	2.0	0.2	9.1	3.4	0.0	2439.2	1961.2	126.5	0.5	80.4	13224.3	2.0	0.2	9.1	3.4	0.0
LA UNION	VALLES DE SAN NICOLAS	5400	5	16778.2	0.0	0.2	14.1	3.4	0.0	15686.0	967.6	122.3	0.2	69.8	16778.2	0.0	0.2	14.1	3.4	0.0
MARINILLA	VALLES DE SAN NICOLAS	5440	5	11661.9	11.0	0.2	20.3	3.0	0.1	7561.7	91.8	125.1	0.6	75.0	11661.9	11.0	0.2	20.3	3.0	0.1
RIONEGRO	VALLES DE SAN NICOLAS	5615	5	19359.9	33.0	0.2	17.8	2.9	0.2	10324.4	414.1	130.0	2.4	90.7	19359.9	33.0	0.2	17.8	2.9	0.2
SAN VICENTE	VALLES DE SAN NICOLAS	5674	5	22959.1	11.0	0.1	11.9	3.1	0.0	8047.9	4925.3	123.5	0.2	70.4	22959.1	11.0	0.1	11.9	3.1	0.0
ALEJANDRIA	PORCE NUS	5021	4	13008.5	1.0	0.1	12.6	2.7	0.0	24379.7	1644.5	96.0	0.0	62.1	13008.5	1.0	0.1	12.6	2.7	0.0
CONCEPCION	PORCE NUS	5206	4	18033.6	19.0	0.1	16.3	3.1	0.1	10251.2	2598.9	103.9	0.0	65.9	18033.6	19.0	0.1	16.3	3.1	0.1
SAN ROQUE	PORCE NUS	5670	4	40574.0	63.0	0.1	17.5	3.1	0.2	41318.7	345.5	108.8	0.2	66.6	40574.0	63.0	0.1	17.5	3.1	0.2
SANTO DOMINGO	PORCE NUS	5690	4	27428.1	15.0	0.1	20.9	2.9	0.1	14717.7	2573.0	106.8	0.2	64.5	27428.1	15.0	0.1	20.9	2.9	0.1
ABEJORRAL	PARAMOS	5002	3	50683.4	17.0	0.2	17.6	3.8	0.0	1503.4	12960.1	95.1	0.2	71.7	50683.4	17.0	0.2	17.6	3.8	0.0
ARGELIA	PARAMOS	5055	3	24343.6	21.0	0.1	14.2	3.8	0.1	8748.1	1942.8	76.6	0.1	62.1	24343.6	21.0	0.1	14.2	3.8	0.1
NARIÑO	PARAMOS	5483	3	31768.7	20.0	0.1	20.5	3.8	0.1	7107.7	428.0	81.1	0.1	60.3	31768.7	20.0	0.1	20.5	3.8	0.1
SONSON	PARAMOS	5756	3	129811.0	203.0	0.1	21.0	3.6	0.2	11193.3	3228.4	68.8	0.5	76.6	129811.0	203.0	0.1	21.0	3.6	0.2
COCORNA	BOSQUES	5197	2	24273.9	15.0	0.1	14.8	3.7	0.1	24866.4	1195.6	85.5	0.1	64.9	24273.9	15.0	0.1	14.8	3.7	0.1
PUERTO TRIUNFO	BOSQUES	5591	2	36056.9	97.0	0.3	32.9	3.0	0.3	103414.4	11698.7	104.8	0.2	72.1	36056.9	97.0	0.3	32.9	3.0	0.3
SAN FRANCISCO	BOSQUES	5652	2	39728.6	136.0	0.1	15.1	3.8	0.3	50883.8	4005.3	65.0	0.0	62.1	39728.6	136.0	0.1	15.1	3.8	0.3
SAN LUIS	BOSQUES	5660	2	50920.1	214.0	0.1	16.4	3.6	0.4	3053.3	1672.9	70.3	0.1	66.4	50920.1	214.0	0.1	16.4	3.6	0.4
EL PEÑOL	AGUAS	5541	1	14084.5	2.0	0.1	7.5	1.7	0.0	4984.6	0.0	116.9	0.2	72.6	14084.5	2.0	0.1	7.5	1.7	0.0
GRANADA	AGUAS	5313	1	18969.1	11.0	0.1	21.1	3.2	0.1	31940.4	101.4	95.5	0.1	66.8	18969.1	11.0	0.1	21.1	3.2	0.1

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

DATOS ORIGINALES																				
Peligro					Vulnerabilidad					Riesgo										
NOM_MPIO	SUBREGION	COD_MPIO	COD_SUBR	Area_Ha	N_Quemas	RCCI	% INUNDACION	SUSCEPTIBILIDAD DESLIZAMIENTOS	QUEMAS	AfectHumana	AfectInfra	ERI	Peso PIB	desempeno fiscal	Poblacion 2015	Area agricola cosechada	Unidades Economicas Comerciales	Unidades Economicas de Servicios	P_HOLDRIDGE	P_AGUA
GUATAPE	AGUAS	5321	1	8211.0	1.0	0.1	5.8	1.5	0.0	947.2	5626.1	99.4	0.3	68.3	8211.0	1.0	0.1	5.8	1.5	0.0
SAN CARLOS	AGUAS	5649	1	73425.6	172.0	0.1	15.4	3.4	0.2	19671.3	3361.6	72.6	0.7	69.2	73425.6	172.0	0.1	15.4	3.4	0.2
SAN RAFAEL	AGUAS	5667	1	34788.2	41.0	0.1	14.8	3.0	0.1	62118.6	670.3	102.4	0.2	69.6	34788.2	41.0	0.1	14.8	3.0	0.1

DATOS BÁSICOS MUNICIPIOS		PELIGRO CLIMÁTICO							
		Indice Regional de CC	Fenómenos físicos					Índice de Peligro IPC	
NOM_MPIO	SUBREGION	RCCI_N	P_INUNDA_N	DES_TIERRA_N	QUEMAS_N	EXP_FENOM	EXP_FENOM_N	PELIGRO	PELIGRO_N
EL CARMEN DE VIBORAL	VALLES DE SAN NICOLAS	0.444	0.293	0.932	0.022	1.246	0.531	0.975	0.449
EL RETIRO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.773	0.297	0.980	0.206	1.483	0.634	1.407	0.685
EL SANTUARIO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.551	0.369	0.633	0.030	1.032	0.437	0.988	0.457
GUARNE	VALLES DE SAN NICOLAS	0.384	0.300	0.670	0.062	1.032	0.437	0.821	0.366
LA CEJA	VALLES DE SAN NICOLAS	0.653	0.121	0.835	0.036	0.992	0.420	1.073	0.503
LA UNION	VALLES DE SAN NICOLAS	0.733	0.306	0.803	0.000	1.109	0.471	1.204	0.574
MARINILLA	VALLES DE SAN NICOLAS	0.372	0.534	0.659	0.224	1.418	0.606	0.978	0.451
RIONEGRO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.531	0.442	0.583	0.406	1.431	0.611	1.142	0.541

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

DATOS BÁSICOS MUNICIPIOS		PELIGRO CLIMÁTICO							
		Índice Regional de CC	Fenómenos físicos					Índice de Peligro IPC	
NOM_MPIO	SUBREGION	RCCI_N	P_INUNDA_N	DES_TIERRA_N	QUEMAS_N	EXP_FENOM	EXP_FENOM_N	PELIGRO	PELIGRO_N
SAN VICENTE	VALLES DE SAN NICOLAS	0.192	0.227	0.686	0.114	1.027	0.435	0.627	0.260
ALEJANDRIA	PORCE NUS	0.122	0.251	0.497	0.018	0.767	0.322	0.444	0.160
CONCEPCION	PORCE NUS	0.029	0.388	0.705	0.251	1.343	0.573	0.602	0.246
SAN ROQUE	PORCE NUS	0.029	0.434	0.680	0.369	1.483	0.634	0.663	0.280
SANTO DOMINGO	PORCE NUS	0.000	0.556	0.623	0.130	1.309	0.558	0.558	0.223
ABEJORRAL	PARAMOS	0.439	0.436	0.983	0.080	1.499	0.641	1.080	0.507
ARGELIA	PARAMOS	0.129	0.309	1.000	0.205	1.514	0.647	0.777	0.341
NARIÑO	PARAMOS	0.188	0.542	0.991	0.150	1.684	0.722	0.909	0.414
SONSON	PARAMOS	0.328	0.562	0.914	0.372	1.848	0.793	1.122	0.529
COCORNA	BOSQUES	0.205	0.333	0.935	0.147	1.416	0.605	0.809	0.359
PUERTO TRIUNFO	BOSQUES	1.000	1.000	0.650	0.640	2.290	0.986	1.986	1.000
SAN FRANCISCO	BOSQUES	0.114	0.345	0.989	0.815	2.148	0.924	1.038	0.484
SAN LUIS	BOSQUES	0.147	0.390	0.932	1.000	2.322	1.000	1.147	0.543
EL PEÑOL	AGUAS	0.185	0.062	0.065	0.034	0.160	0.057	0.242	0.050
GRANADA	AGUAS	0.157	0.566	0.716	0.138	1.420	0.607	0.764	0.335
GUATAPE	AGUAS	0.150	0.000	0.000	0.029	0.029	0.000	0.150	0.000
SAN CARLOS	AGUAS	0.068	0.356	0.818	0.557	1.731	0.742	0.811	0.360
SAN RAFAEL	AGUAS	0.078	0.332	0.644	0.280	1.256	0.535	0.613	0.253

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

DATOS BÁSICOS MUNICIPIOS		VULNERABILIDAD										
		Vulnerabilidad Social				Vul Biodiversidad	Vulnerabilidad sectorial				Integración Vulnerabilidad	
NOM_MPIO	SUBREGION	AfectHumana	AfectInfra	vs	Vs_n	VA	Peso_PIB	des_Fiscal	vei	VeI_n	IIV	IIV_N
EL CARMEN DE VIBORAL	VALLES DE SAN NICOLAS	0.03	0.07	0.10	0.03	0.28	0.17	0.57	0.74	0.65	0.95	0.06
EL RETIRO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.01	0.14	0.15	0.06	0.35	0.13	0.80	0.93	0.55	0.95	0.06
EL SANTUARIO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.04	0.06	0.10	0.03	0.93	0.17	0.48	0.65	0.69	1.65	0.52
GUARNE	VALLES DE SAN NICOLAS	0.05	0.00	0.05	0.01	1.00	0.25	0.73	0.98	0.52	1.53	0.44
LA CEJA	VALLES DE SAN NICOLAS	0.01	0.15	0.17	0.07	0.91	0.21	0.66	0.87	0.58	1.55	0.46
LA UNION	VALLES DE SAN NICOLAS	0.14	0.07	0.22	0.10	0.85	0.08	0.31	0.40	0.82	1.76	0.60
MARINILLA	VALLES DE SAN NICOLAS	0.06	0.01	0.07	0.02	0.89	0.25	0.48	0.73	0.65	1.55	0.46
RIONEGRO	VALLES DE SAN NICOLAS	0.09	0.03	0.12	0.05	0.96	1.00	1.00	2.00	0.00	1.00	0.09
SAN VICENTE	VALLES DE SAN NICOLAS	0.07	0.38	0.45	0.22	0.86	0.08	0.33	0.42	0.81	1.89	0.68
ALEJANDRIA	PORCE NUS	0.23	0.13	0.36	0.17	0.46	0.00	0.06	0.06	0.99	1.62	0.50
CONCEPCION	PORCE NUS	0.09	0.20	0.29	0.14	0.57	0.00	0.19	0.19	0.93	1.64	0.51
SAN ROQUE	PORCE NUS	0.39	0.03	0.42	0.20	0.65	0.08	0.21	0.29	0.87	1.72	0.57
SANTO DOMINGO	PORCE NUS	0.13	0.20	0.33	0.16	0.62	0.08	0.14	0.22	0.91	1.68	0.54
ABEJORRAL	PARAMOS	0.01	1.00	1.01	0.52	0.44	0.08	0.37	0.46	0.79	1.75	0.59
ARGELIA	PARAMOS	0.08	0.15	0.23	0.10	0.17	0.04	0.06	0.10	0.97	1.24	0.25
NARIÑO	PARAMOS	0.06	0.03	0.09	0.03	0.24	0.04	0.00	0.04	1.00	1.27	0.27
SONSON	PARAMOS	0.10	0.25	0.35	0.17	0.06	0.21	0.54	0.74	0.64	0.86	0.00
COCORNA	BOSQUES	0.23	0.09	0.33	0.15	0.30	0.04	0.15	0.19	0.92	1.38	0.34
PUERTO TRIUNFO	BOSQUES	1.00	0.90	1.90	1.00	0.59	0.08	0.39	0.47	0.78	2.37	1.00
SAN FRANCISCO	BOSQUES	0.49	0.31	0.80	0.41	0.00	0.00	0.06	0.06	0.99	1.40	0.36
SAN LUIS	BOSQUES	0.02	0.13	0.15	0.06	0.08	0.04	0.20	0.24	0.90	1.03	0.11
EL PEÑOL	AGUAS	0.04	0.00	0.04	0.00	0.77	0.08	0.40	0.49	0.77	1.54	0.45
GRANADA	AGUAS	0.30	0.01	0.31	0.15	0.45	0.04	0.21	0.26	0.89	1.49	0.41
GUATAPE	AGUAS	0.00	0.43	0.43	0.21	0.51	0.13	0.26	0.39	0.82	1.54	0.45
SAN CARLOS	AGUAS	0.18	0.26	0.44	0.22	0.11	0.29	0.29	0.58	0.72	1.05	0.12
SAN RAFAEL	AGUAS	0.60	0.05	0.65	0.33	0.55	0.08	0.30	0.39	0.82	1.70	0.56

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

DATOS BÁSICOS MUNICIPIOS		RIESGO														
		Riesgo Social		Riesgo Sectorial							Riesgo Biodiversidad				Integración Riesgo	
NOM_MPIO	SUBREGION	POB_RIESGO	IRS	AACR	AACR_N	UE	UECR	UECR_N	IRSe	IRSe_N	PCZH_N	PCBH_N	IRA	IRA_N	IIR	IIR_N
EL CARMEN DE VIBORAL	VALLES DE SAN NICOLAS	636.55	0.032	1920.36	0.537	811	235.05	0.578	1.116	0.711	0.437	0.264	0.194	0.134	0.876	0.433
EL RETIRO	VALLES DE SAN NICOLAS	750.58	0.037	188.09	0.053	425	159.43	0.392	0.445	0.283	0.433	0.433	0.300	0.207	0.528	0.227
EL SANTUARIO	VALLES DE SAN NICOLAS	398.82	0.020	1356.13	0.380	658	207.52	0.510	0.890	0.567	0.715	0.434	1.067	0.736	1.323	0.697
GUARNE	VALLES DE SAN NICOLAS	102.65	0.005	150.45	0.042	1172	224.22	0.552	0.594	0.378	0.833	0.617	1.451	1.000	1.383	0.733
LA CEJA	VALLES DE SAN NICOLAS	1799.40	0.090	314.50	0.088	1400	406.56	1.000	1.088	0.693	0.543	0.391	0.847	0.584	1.367	0.723
LA UNION	VALLES DE SAN NICOLAS	1055.10	0.053	506.87	0.142	630	296.22	0.729	0.870	0.554	0.000	0.331	0.280	0.193	0.800	0.388
MARINILLA	VALLES DE SAN NICOLAS	416.33	0.021	1362.90	0.381	1263	368.12	0.905	1.287	0.820	0.943	0.443	1.229	0.847	1.688	0.913
RIONEGRO	VALLES DE SAN NICOLAS	2933.37	0.146	0.00	0.000	3933	0.00	0.000	0.000	0.000	0.933	0.540	1.412	0.974	1.120	0.577
SAN VICENTE	VALLES DE SAN NICOLAS	983.93	0.049	1571.74	0.440	255	53.64	0.132	0.572	0.364	0.984	0.485	1.268	0.874	1.287	0.676
ALEJANDRIA	PORCE NUS	94.27	0.005	151.25	0.042	137	21.75	0.053	0.096	0.061	0.116	0.132	0.114	0.078	0.144	0.000
CONCEPCION	PORCE NUS	115.35	0.006	152.63	0.043	112	25.57	0.063	0.106	0.067	0.725	0.188	0.524	0.361	0.434	0.172
SAN ROQUE	PORCE NUS	960.56	0.048	1113.75	0.312	472	115.13	0.283	0.595	0.379	0.583	0.147	0.471	0.325	0.751	0.359
SANTO DOMINGO	PORCE NUS	365.18	0.018	667.42	0.187	301	60.82	0.150	0.336	0.214	0.422	0.091	0.317	0.218	0.451	0.181
ABEJORRAL	PARAMOS	5066.45	0.253	3573.26	1.000	258	102.98	0.253	1.253	0.798	0.492	0.277	0.342	0.235	1.286	0.676
ARGELIA	PARAMOS	297.52	0.015	789.07	0.221	160	53.00	0.130	0.351	0.224	0.585	0.081	0.114	0.079	0.317	0.102
NARIÑO	PARAMOS	206.32	0.010	1889.73	0.529	260	107.56	0.265	0.793	0.505	0.558	0.178	0.175	0.121	0.636	0.291
SONSON	PARAMOS	3114.78	0.155	2349.20	0.657	1093	371.05	0.913	1.570	1.000	0.290	0.490	0.044	0.030	1.186	0.616
COCORNA	BOSQUES	826.60	0.041	1636.30	0.458	377	125.01	0.307	0.765	0.487	0.593	0.000	0.180	0.124	0.653	0.301
PUERTO TRIUNFO	BOSQUES	20062.00	1.000	115.25	0.032	310	242.23	0.596	0.628	0.400	0.074	1.000	0.630	0.434	1.834	1.000
SAN FRANCISCO	BOSQUES	1044.86	0.052	344.42	0.096	141	67.64	0.166	0.263	0.167	0.699	0.312	0.000	0.000	0.219	0.045
SAN LUIS	BOSQUES	351.60	0.018	426.64	0.119	371	180.90	0.445	0.564	0.359	0.538	0.365	0.070	0.048	0.425	0.166
EL PEÑOL	AGUAS	0.00	0.000	47.10	0.013	362	14.04	0.035	0.048	0.030	0.954	0.105	0.811	0.559	0.590	0.264
GRANADA	AGUAS	479.64	0.024	526.00	0.147	172	51.26	0.126	0.273	0.174	0.684	0.066	0.338	0.233	0.431	0.170
GUATAPE	AGUAS	0.00	0.000	0.00	0.000	182	0.00	0.000	0.000	0.000	1.000	0.002	0.509	0.351	0.351	0.122
SAN CARLOS	AGUAS	1249.70	0.062	853.85	0.239	325	84.66	0.208	0.447	0.285	0.657	0.225	0.099	0.068	0.415	0.160

Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño

Anexo 2. Estudios técnicos en riesgos y resiliencia climática

DATOS BÁSICOS MUNICIPIOS		RIESGO														
		Riesgo Social		Riesgo Sectorial							Riesgo Biodiversidad				Integración Riesgo	
NOM_MPIO	SUBREGION	POB_RIESGO	IRS	AACR	AACR_N	UE	UECR	UECR_N	IRSe	IRSe_N	PCZH_N	PCBH_N	IRA	IRA_N	IIR	IIR_N
SAN RAFAEL	AGUAS	1072.00	0.053	363.84	0.102	299	62.16	0.153	0.255	0.162	0.605	0.098	0.388	0.268	0.483	0.201

